

Petteri Pahkala

CLT-RUNKOISEN PIENTALON SUUNNITTELU

CLT-RUNKOISEN PIENTALON SUUNNITTELU

Petteri Pahkala
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennetekniikka

Tekijä: Petteri Pahkala
Opinnäytetyön nimi: CLT-runkoisen pientalon suunnittelu
Työn ohjaaja: Pekka Kilpinen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018
Sivumäärä: 35 + 4 liitettä

CLT:n eli ristiin liimattujen puulevyjen käyttö suomalaisessa rakentamisessa on kasvussa. CLT on ympäristöystävällinen ja terveellinen rakennusmateriaali, josta on nopea ja helppo rakentaa niin matalia kuin korkeitakin rakennuksia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä hankesuunnitelma Kuopiossa sijaitsevaan omakotitaloon käyttäen ensisijaisena kantavana rakenteena CLT-levyä. Lisäksi tarkoituksena oli perehtyä tarkasti CLT:n ominaisuuksiin, koska se vastaa parhaiten opinnäytetyön tilaajan, Rakennusliike Builtin tarpeita.

Opinnäytetyössä etsittiin monesta eri lähteestä perustietoa CLT:stä. Rakennuskohteen suunnittelussa valittiin rakenteiksi toimivat ja turvalliset rakenneratkaisut. Rakenneratkaisuiden avulla kohteeseen saatiin kustannusarvioita tarjouspyynnöillä ja kustannuslaskelmilla. CLT-seinän rakentamisen kustannuksia verrattiin muihin yleisiin rakennustapoihin. CLT:n mitoituksen osalta perehdyttiin yksinkertaisen rakenteen mitoitukseen.

CLT:n kilpailukyvyn muihin rakenteisiin verrattaessa havaittiin olevan vielä heikko, mutta materiaalin yleistymisen myötä kilpailukyky paranee. Opinnäytetyössä suunnittelun kohteen osalta todettiin, että kustannusten kasvu CLT:n myötä on kohtuullista, mutta CLT ei ole taloudellisesti kannattavin ratkaisu. Suunnittelun myötä kävi ilmi, että pienen omakotitalon rakenteena CLT:n mitoituksen käyttöasteet pysyvät kovin alhaisina.

Asiasanat: CLT, CLT-rakentaminen, CLT-mitoitus, kustannusvertailu, rakenne-suunnittelu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Structural Engineering

Author: Petteri Pahkala

Title of thesis:

Supervisor: Pekka Kilpinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 35 + 4 appendices

The use of CLT or cross laminated timber in Finnish construction is growing. CLT is an environmentally friendly and healthy building material, from which it is fast and easy to build low and high buildings.

In this thesis, a project plan was made for a detached house in Kuopio. CLT was used as a supporting structure. In the work, CLT was introduced in many ways, because it meets the demands of this construction company.

The aim of the study was to find basic information about CLT from many different sources. Functional and safe solutions were chosen for the structure. The structural solutions enabled the target to get cost estimates with bid calls and cost calculations. The costs of constructing with CLT wall was compared with other general construction methods. As regards the dimensioning of CLT, the design of a simple structure was studied.

The competitiveness of CLT against other structures is still weak, but when the use of CLT increases the competitiveness will rise. For the result of this thesis, it was found that cost increases with CLT are reasonable, but CLT is not the most profitable solution. It was noted that the dimensions of the design remain very low on small detached houses made of CLT.

Keywords: CLT, CLT building, cost comparison, CLT dimensioning, structural design

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 CLT RAKENNUSMATERIAALINA	7
2.1 Tekniset ominaisuudet	8
2.2 Palomääräykset	9
2.3 Ympäristöystävällisyys	10
3 CLT-SEINÄN MITOITUS	12
3.1 Mitoituksen perusta	12
3.2 Taivutus- ja puristusmitoitus	12
3.3 Leikkausmitoitus	16
3.4 Taipumamitoitus	17
3.5 Laskentapohja	18
4 KOHTEEN KURKIMÄKI RAKENNERATKAISUJA	19
4.1 Ulkoseinät	19
4.1.1 Alakerta	19
4.1.2 Yläkerta	22
4.2 Perustukset ja alapohja	25
4.3 Vesikatto ja yläpohja	27
4.4 CLT-rakenteiden rakennelaskelmia	28
5 SEINÄRAKENTEEN KUSTANNUSVERTAILU	30
6 YHTEENVETO	32
LIITTEET	
Liite 1 Seinäelementin laskentapohja	
Liite 2 Kohteen CLT-seinän rakennelaskelmia	
Liite 3 Piirustuksia kohteesta	
Liite 4 Seinän kustannuslaskelmia	
Liite 5 Rakennuksen kosteustekniset laskelmat	

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään Kuopioon rakennettavan omakotitalon suunnitteluun. Talo suunnitellaan Rakennusliike Builtti Oy:n toimeksiannosta. Kuopiossa sijaitsevalle tontille rakennetaan kaksi samanlaista rakennusta, mutta tässä työssä perehdytään yhteen rakennukseen.

Opinnäytetyössä käydään läpi pientalon rakenteiden suunnitteluvaiheet alkaen perustuksista. Ulkoseinien runkomateriaalina kohteessa käytetään CLT:tä, joka on 1990-luvulla kehitetty rakennusmateriaali. CLT eli ristiin liimattuja puulevyjä on vielä Suomessa vähän käytetty, mutta käyttö on lisääntynyt huomattavasti viimeisten vuosien aikana. Keski-Euroopassa ja Kanadassa CLT on jo yleinen rakennusmateriaali.

CLT:n hinta on vielä suhteellisen korkea sen vaikean saatavuuden ja vähäisen käytön vuoksi. Työssä tutkitaan myös kohteen CLT-rakentamisen kustannuksia ja selvitetään edullisinta rakennustapaa. Kustannuksia verrataan perinteiseen paikallarakennettuun puurankarakenteeseen sekä suurelementtirakentamiseen. Samalla selvitetään, kannattaako seinät tilata pelkästään CLT-elementteinä vai CLT-suurelementteinä.

2 CLT RAKENNUSMATERIAALINA

CLT koostuu useista ristikkäin liimatuista puulevykerroksista (kuva 1). Yleensä kerroksia on kolme tai viisi, mutta kerroksia voi olla useampiakin. Kerrosten paksuudet vaihtelevat 20 mm:stä 50 mm:iin ja koko levyn paksuun on 60–400 mm. Levyjen korkeus voi vaihdella valmistajan mukaan, mutta yleensä maksimi korkeus on noin kolme metriä ja pituus 6–16 metriä. CLT-levyt valmistetaan kuivissa olosuhteissa elementtitehtailla. Levyt liimataan ja puristetaan koneellisesti. (1.)



KUVA 1. Havainnekuva CLT:stä (2)

CLT tuo paljon mahdollisuuksia arkkitehtuuriseen näkökantaan, koska levyjä on mahdollista muotoilla ja helppo käsitellä eri laitteilla. Uritukset ja koloamiset kuu-luvat monen CLT-toimittajan palveluihin. Halutessaan levyjä voi kuvioda ja käsi-tellä tilaajan toiveiden mukaisesti. CLT-levyn toimittajilla on koneissa rajat, mi-ten levyä voi työstää, joten muotoilut kannattaa suunnitella niiden mukaan. Le-vytoimittajilla on yleensä omat suunnitteluohjeistuksensa, joiden avulla CLT:n suunnittelu kannattaa toteuttaa. (2.)

CLT on hyvin suosittu rakennusmateriaali Keski-Euroopassa, missä suositetaan massiivisia rakenteita. Suomessa CLT-rakentaminen on yleistynyt vauhdilla viimeisen vuoden aikana, monet rakennusliikkeet ovat laajentaneet CLT-rakentamisen puolelle. Varsinkin kerrostalorakentamisessa CLT on noussut vahvaksi kilpailijaksi betonirakentamiselle. (3.)

2.1 Tekniset ominaisuudet

CLT toimii erinomaisesti kantavana ja jäykistävänä rakenteena ristiin liimattujen lautalevyjen ansiosta. Jäykkyyden ansiosta CLT-elementit eivät tarvitse mitään erillisiä tukia tai muita jäykisteitä. CLT on täysin ilmatiivistä, ja sen kosteudenläpäisevyyden arvot vastaavat perinteisen höyrynsulun arvoja, joten CLT-rakenteessa ei tarvi erillistä höyrynsulkua (taulukko 1). Elementit ovat ominaisuuksiinsa nähden suhteellisen kevyttä rakennusmateriaalia. (4.)

TAULUKKO 1. CLT:n ominaisuuksia (4)

Ominaisuus	Arvot	Mittausperuste
Pääasiallinen käyttötarkoitus	Seinä-, lattia- ja kattorakenteet eri käyttötarkoituksissa rakennuksissa (asuin- ja työpaikkarakennukset, julkiset rakennukset yms.)	
Enimmäisleveys	2,95 m	
Enimmäispituus	16,00 m	
Enimmäispaksuus	400 mm	
Vakiopaksuudet	Tarkistettava valmistajalta	
Kerrosrakenne	Ristiin laminoitu, liimattu	
Puulaatu	Kuusi (muiden puulajien saatavuus varmistettava valmistajalta)	
Lujuusluokka	C24	Rakenteellisen mitoituksen las- kenta-arvo
Kosteuspitoisuus	12 % +/- 2 %	
Liimatyyppe	Formaldehydivapaa PUR liima	
Pintalaatu	Teollisesti hiottu	
Visuaalinen laatuluokka	C tai A/B	EN 13701-1, taulukko 1
Paino	5,0 kN/m ³	Rakenteellisen mitoituksen las- kenta-arvo
Kosteuden vaihtelun aiheuttamat muodonmuutokset levyn suunnassa	0,02 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohden	
Kosteuden vaihtelun aiheuttamat muodonmuutokset levyn paksuudessa	0,24 % jokaista kosteusprosentin muutosta kohden	
Paloluokka (reaction to fire)	D-s2, d0	Komission päätös 2003/43/EC
Palonkesto (resistance to fire)	Hiiltymisnopeus 0,65 mm/min	EN 1995-1-2
Kosteuden läpäisevyys	20...50	EN 12524
Lämmönjohtavuus (lambda)	0,11 W/(mK)	EN 12524
Lämpökapasiteetti	1600 J/(kgK)	EN 12524
Ilmatiiviyys	Käytännössä tiivis (Effectively airtight)	EN 12114
Käyttöluokka (Service class)	1 ja 2	EN 1995-1-1

CLT-materiaalin paksuus kantavassa rakenteessa on vähintään n. 100 mm (3). CLT jäykistää molempiin suuntiin ristiin liimattujen lautalevyjen ansiosta. Toimivuus kantavana rakenteena on erittäin hyvä ja luotettava. CLT painaa 5 kN/m³, kun taas vastaavia ominaisuuksia sisältävä betoni 24 kN/m³. CLT-rakenne voi olla keveyden ansiosta toimiva ja järkevä ratkaisu kohteissa, joissa on rajoituksia rakenteen omalle kuormalle. (1.)

CLT on ilmatiivis ja kosteutta läpäisemätön tuote, joten se toimii rakennuksen kosteudensulkuna. Ilmavuotoluku n50 voidaan saada CLT-rakenteisessa talossa tosi alhaisiksi, kuten eräessä koetalossa mittaustulokseksi saatiin alle 1 m³ /hm². CLT-koetalossa ei esiintynyt homeen kasvun edellyttäviä olosuhteita (5, s. 8, 13).

2.2 Palomääräykset

CLT suojaamattomana rakenteena sijoittuu paloluokkaan P3, jossa palotekniset vaatimukset ovat vähäisiä. P3-paloluokan asuinrakennuksella kerroksia saa olla enintään kaksi ja rakennuksella korkeutta enintään 9 metriä (taulukko 2).

TAULUKKO 2. P3-paloluokan rakennuksen käyttötarkoitusta ja kokoa koskevat rajoitukset (6, s.5)

Rakennus	Kerrosluku enintään	Korkeus ¹⁾ enintään	Kerrosala enintään
1-kerroksinen, yleensä	1	9 m	2 400 m ² (4 800 m ² *)
2-kerroksinen, yleensä	2	9 m	1 600 m ² (2 400 m ² *)
Hoitolaitos	1	9 m	2 400 m ²
Tuotanto- tai varastorakennus	1 ²⁾	14 m	ei rajoitusta
Erillisenä rakennuksena oleva maataloustuotteiden kuivaamo	1	18 m	ei rajoitusta
Autosuoja	1	9 m	ei rajoitusta
Asuinrakennus, jonka päällekkäiset kerrokset kuuluvat eri asuinhuoneistoon	ei sallittu	ei sallittu	ei sallittu

¹⁾ Rakennuksen korkeus on julkisivupinnan ja vesikaton leikkauslinjan korkeus maan pinnasta (MRA 58 §). Tarvittaessa lasketaan rakennuksen nurkkapisteiden korkeuksien keskiarvo.

²⁾ Pääosin 1-kerroksisessa rakennuksessa toisen kerroksen tasolle saa sijoittaa osastoituna enintään 200 m² ja osastoimattomana enintään 50 m² oleellisesti rakennuksen toimintaan liittyviä tiloja.

* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

Paloluokkaan P2 päästää verhoilemalla CLT:n pinnat kipsilevyllä, jolloin saadaan taulukon 3 mukaan rakentaa enintään kahdeksan kerrosta. Uusimpien määräysten mukaan massiivipuurakenteisessa rakennuksessa voidaan P2-paloluokassa seinien ja kattojen osalta 20 prosenttia puupintaa jättää näkyviin. Jos kantavuus vaatimusta nostetaan 90 minuuttiin, puupintaa voidaan jättää näkyviin jopa 80 prosenttia. Lattiat ja kevyet väliseinät voivat myös olla puupintaisia. (6. s.15.)

TAULUKKO 3. P2-paloluokan rakennuksen käyttötarkoitusta ja kokoa koskevat rajoitukset (6, s.5)

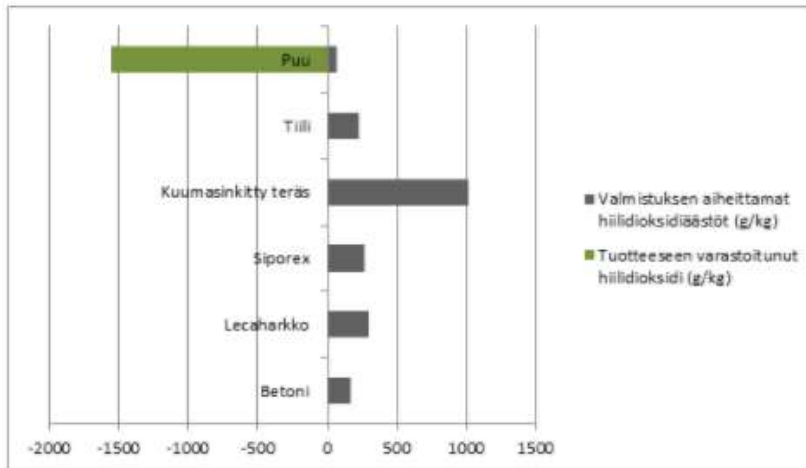
Rakennus	Kerros-luku enintään	Korkeus ¹⁾ enintään	Kerrosala enintään
Yleensä	2	9 m	ei rajoitusta
1-kerroksinen tuotanto- tai varastorakennus	1 ²⁾	ei rajoitusta	ei rajoitusta
Palovaarallisuusluokan 2 tuotanto- tai varastorakennus	1 ²⁾	ei rajoitusta	ei rajoitusta
Yli 2-kerroksinen asuinrakennus, hoitolaitos (pois lukien suljettu rangaistuslaitos), majoitusrakennus ja työpaikkarakennus ³⁾	8 *	28 m *	12 000 m ² *
Yli 2-kerroksinen kokoontumis- ja liikerakennus ³⁾	4 *	14 m *	12 000 m ² *
Yli 2-kerroksinen asuinrakennus, jonka kaikki kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan asuinhuoneistoon ³⁾	4	14 m	12 000 m ²

¹⁾Rakennuksen korkeus on julkisivupinnan ja vesikaton leikkauslinjan korkeus maan pinnasta (MRA 58 §). Tarvittaessa lasketaan rakennuksen nurkkapisteiden korkeuksien keskiarvo.
²⁾Pääosin 1-kerroksisessa rakennuksessa toisen kerroksen tasolle saa sijoittaa osastoituna enintään 200 m² ja osastoimattomana enintään 50 m² oleellisesti rakennuksen toimintaan liittyviä tiloja.
³⁾ Rakennuksessa ei sallita tiloja, joissa on palokuormaa yli 1 200 MJ/m².
* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

2.3 Ympäristöystävällisyys

CLT toimii hiilivarastona koko elinkaarensa ajan, joten se parantaa rakennuksen ja rakentamisen hiilitasetta huomattavasti. Kuutio puuta varaa itseensä noin 1 500 kg hiilidioksidia, minkä ansiosta voidaan säästää jopa 2 000 kg hiilidioksidia muihin yleisiin rakennusmateriaaleihin verrattaessa (kuva 2).

CLT-rakentamisen etuihin kuuluu ympäristöystävällisyys ja positiivinen CO₂-tasapaino. CLT tuo miellyttävän ja terveellisen sisäilman, koska puu tasaa rakennuksen sisäilman kosteutta ja parantaa täten sisäilman laatua. (2, s.2.)



KUVA 2. Rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästöt (7)

3 CLT-SEINÄN MITOITUS

3.1 Mitoituksen perusta

Seinäelementtien laskennassa käytettiin soveltaen mekaanisesti liitettyjen palkkien teoriaa standardin SFS-EN 1995-1-1 liitteen B mukaan. Teoriassa lasketaan rakenteen poikkileikkauksen jännityksen mitoitusarvo tehollisen jäykkyyden $(EI)_{eff}$ avulla. CLT-rakenteessa kerrokset, jotka ovat kohtisuorassa kuormitukseen nähden, oletetaan mekaanisesti liittimiksi. Kiinnikkeiden kiinnityskerroin on 0-1, jossa nolla tarkoittaa, ettei kiinnitystä ollenkaan ja yksi täydellisestä kiinnityksestä. (6, s.104.)

Suomen rakennusinsinööriliiton julkaisemassa teoksen RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje lisäohjeissa käytetään samaa teoriaa. Enintään viisi-kerroksisten laattojen voidaan tehdä liitettyjen palkkien teorialla. Korvaamalla liitoksen jäykkyyserroin s_i/K_i kertoimella $d_{ij}/(G_{R,mean}b)$ otetaan leikkausvoimien aiheuttamat muodonmuutokset huomioon. Syrjälläan kuormitetun CLT-levyn leikkauskestävyys voidaan mitoittaa massiivisena poikkileikkauksena käyttäen CLT:n leikkauslujuuden ominaisarvoa. (7.)

3.2 Taivutus- ja puristusmitoitus

Seinäelementtiin vaikuttavat ristikoilta tulevat puristuskuormat ja tuulen aiheuttama taivutus yhdestä suunnasta. Taivutusmitoituksessa lasketaan yhteen taivutusjännitysten suhde taivutuslujuuksien mitoitusarvoihin ja puristusjännityksen suhde puristuslujuuden mitoitusarvoihin. Suhteiden arvo ei saa ylittää arvoa 1. Hoikkuudesta tulevalla nurjahduskertoimella k_c pienennetään puristuslujuutta. Mitoitusehdon kaava on esitetty kaavassa 1. (6, s.38.)

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \text{KAAVA 1}$$

$\sigma_{m,d}$ = taivutusjännityksen mitoitusarvo

$f_{m,d}$ = taivutuslujuuden mitoitusarvo

$\sigma_{c,0,d}$ = syynsuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo

k_c = nurjahduskerroin

$f_{c,0,d}$ = syynsuuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

Enintään viisikerroksisten rakenteiden taivutus- ja leikkauskestävyyden mitoitus voidaan tehdä soveltaen mekaanisin liittimin kootun palkin teoriaa. Rakenteelle kohdistuvasta kuormasta ja sen aiheuttamasta momentista syntyy rakenteelle taivutusjännitystä. Taivutusjännitykseen vaikuttavat taivutusmomentin suuruus, tehollinen jäyhyysmomentti ja lamellikerroksen liitoshyötysuhde. Tulee huomioida myös uloimman lamellikerroksen paksuus ja lamellin keskilinjan etäisyys koko rakenteen keskelle. Taivutusjännitys lasketaan kaavalla 2. (8, s. 2; 6, s. 104.)

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{I_{ef}} \cdot \left(\gamma_i \cdot a_i + \frac{h_i}{2} \right) \quad \text{KAAVA 2}$$

$\sigma_{m,d}$ = taivutusjännityksen mitoitusarvo

M_d = taivutusvoiman mitoitusarvo

I_{ef} = tehollinen jäyhyysmomentti (kaava 3)

γ_i = uloimman lamellikerroksen liitoshyötysuhde (kaava 4)

a_i = etäisyys levyn keskeltä ulomman lamellikerroksen keskelle

h_i = uloimman lamellikerroksen paksuus

Taivutusmitoituksessa tarvitaan CLT-elementin poikkileikkauksen tehollista jäyhyysmomenttia, joka lasketaan kaavalla 3. (8, s. 2.)

$$I_{ef} = \sum_{i=1}^n (I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2) \quad \text{KAAVA 3}$$

A_i = lamellikerroksen poikkipinta-ala

I_i = Lamellikerroksen jäyhyysmomentti

Mekaanisin kiinnitettyjen palkkien teoriassa liitoshyötökertoimella otetaan huomioon kiinnityksen teho. Liitoshyötysuhteen suuruuteen vaikuttavat puutavaran liukukerroin, laatan leveys ja tukiväli, sekä kantosuunnan suhteen poikittain olevien lamellikerrosten paksuus. Kertoimen suuruus on nollan ja yhden välillä. Nolla tarkoittaa, ettei ole kiinnitystä ollenkaan, ja yksi tarkoittaa täydellistä kiinnitystä. Liitoshyötysuhdekerroin ratkaistaan kaavalla 4. (8, s.2.)

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \left(\pi^2 \cdot \frac{E_{0,mean} \cdot A_i \cdot d_{ij}}{l^2 \cdot G_{R,mean} \cdot b} \right)}$$

KAAVA 4

γ_i = liitoshyötysuhdekerroin

l = elementin korkeus

$G_{R,mean}$ = sahatavaran liukukerroin

$E_{0,mean}$ = lamellikerroksen kimmomoduuli

b = laatan pituus

d = poikittain olevan lamellikerroksen paksuus

Taivutuslujuuden mitoitusarvon laskenta on esitetty kaavalla 5 (9, s.4).

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$$

KAAVA 5

$f_{m,d}$ = taivutuslujuuden mitoitusarvo

k_{mod} = käyttö- ja aikaluokasta aiheutuva muunnoskerroin

$f_{m,k}$ = materiaalin taivutuslujuuden ominaisarvo

γ_m = materiaalin osavarmuusluku

Puristusjännityksen laskennassa otetaan huomioon puristusvoima ja pystysuunnassa olevien lamellikerrosten pinta-ala. Puristuslujuuden mitoitusarvon laskenta on esitetty kaavassa 6. (9, s.16.)

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A}$$

KAAVA 6

$\sigma_{c,o,d}$ = puristusjännityksen mitoitusarvo

A = kantosuunnassa olevan puutavaran pinta-ala

N_d = puristusvoiman mitoitusarvo

Materiaalin syynsuuntainen laskentapuristuslujuuden laskenta kaavalla 7 (9, s. 16).

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m}$$

KAAVA 7

$f_{c,0,d}$ = puristuslujuuden mitoitusarvo

k_{mod} = aika- ja kosteusluokan muunnoskerroin

$f_{c,0,k}$ = puristuslujuuden ominaisarvo

γ_m = materiaalin osavarmuusluku

Puristuslujuuden mitoitusarvoa pienennetään nurjahduskertoimella k_c . Nurjahduskerroin riippuu hoikkuusluvusta. Kertoimessa on otettu huomioon sauvan alkukäyryys ja laskennallinen lisätaipuma. Kuorman epäkeskisyydestä ja poikittaiskuormista aiheutuvat taivutusjännitykset otetaan huomioon kaavassa 1. Nurjahduskerroin ratkaistaan kaavalla 8. (10, s. 82.)

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad \text{KAAVA 8}$$

$k_{c,y}$ = nurjahduskerron y-akselin suhteen

k_y = katso kaava 9

$\lambda_{rel,y}$ = suhteellinen hoikkuus

Nurjahduskertoimen ratkaisu määritellään kaavalla 9 (10, s. 82).

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 \quad \text{KAAVA 9}$$

$\lambda_{rel,y}$ = suhteellinen hoikkuus

β_c = sauvan alkukäyryydestä johtuva kerroin

$\beta_c = 0,1$.

Nurjahduskertoimen laskennallisessa määrittämisessä tarvittava sauvan muunnettu hoikkuus lasketaan kaavalla 10 (10, s. 82).

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \text{KAAVA 10}$$

$\lambda_{rel,y}$ = suhteellinen hoikkuus

λ_y = hoikkuusluku

$f_{c,0,k}$ = materiaalin puristuslujuuden ominaisarvo

$E_{0,05}$ = syynsuuntaista kuormitusta vastaavan kimmokertoimen ominaisarvo

Rakenteen hoikkuusluku laskentaan tarvitaan rakenteen nurjahduspituutta z-akselin suunnassa ja poikkileikkauksen jäyhyyssädettä y-akselin suhteen. Hoikkuusluvun laskenta esitetty kaavalla 11. (9, s. 22.)

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} \quad \text{KAAVA 11}$$

λ_y = hoikkuusluku

$L_{c,z}$ = Nurjahduspituus z-suunnassa, elementin korkeus

i_y = Poikkileikkauksen jäyhyyssäde y-akselin suhteen. suorakaidepoikkileikkaukselle $i_y = b/\sqrt{12}$, b on CLT-levyn koko paksuus.

Nurjahduskerroin k_c voidaan määrittää myös käyrästä sauvan hoikkuuden ja materiaalin lujuusluokan perusteella (10, s.79).

3.3 Leikkausmitoitus

Leikkausmitoituksen ehtona (kaava 12) CLT-levylle on, että leikkausjännityksen mitoitusarvo τ_d ei saa ylittää leikkauslujuuden mitoitusarvoa $f_{v,d}$. Leikkauslujuuden mitoitusarvon kaava esitetty kaavalla 13 ja leikkausjännitys suorakaidepoikkileikkaukselle kaavalla 14. (9, s.12,14.)

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad \text{KAAVA 12}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{R,k,0}}{\gamma_m} \quad \text{KAAVA 13}$$

$f_{v,d}$ = leikkauslujuuden mitoitusarvo

k_{mod} = aika- ja kosteusluokan muunnoskerroin

$f_{R,k,0}$ = leikkauslujuuden mitoitusarvo

γ_m = materiaalin osavarmuusluku

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} \quad \text{KAAVA 14}$$

τ_d = leikkausjännityksen ominaisarvo

V_d = poikkileikkausta rasittava leikkausvoima

A = Leikkauspinta-ala

3.4 Taipumamitoitus

Eurokoodin EN 1995-1-1 kansallisessa liitteessä on rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan asetettu taipumarajat (10, s. 225). Taipumarajat on esitetty taulukossa 4. Seinärakenteeseen kohdistuu ainoastaan tuulikuorma, joka aiheuttaa taipumaa. Tuulikuorman suuruus määräytyy tuulenpaineesta. Hetkellisen taipuman ratkaisu on esitetty kaavalla 15. (11, s. 69.)

TAULUKKO 4. Taipumien ja rakennuksen vaakasiirtymien enimmäisarvot (10, s. 225)

Rakenne	$w_{inst}^{1)}$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}^{2)}$
Pääkannattimet	$L/400$	$L/300$	$L/200$
Orret ja muut toisiokannattimet	-	$L/200^{3)}$	$L/150$
Rakennuksen vaakasiirtymä	-	$H/300$	-

¹⁾ Koskee pelkästään lattiaita

²⁾ Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita

³⁾ Lattialevyn taipumaa laskettaessa kuormituksena on lyhytaikainen pistekuorma $Q_k = 2 \text{ kN}$ ja levyn omapaino

$$w_{inst} = \frac{5 \cdot b \cdot c_{p,net} \cdot q_k(h) \cdot L^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_{ef}}$$

KAAVA 15

w_{inst} = hetkellinen taipuma tuulikuormasta

$c_{p,net}$ = osapinnan nettotuulenpaine kerroin

$q_k(h)$ = nopeuspaine rakennuksen korkeuteen h nähden

$E_{0,mean}$ = kimmomoduuli

I_{ef} = jäyhyysmomentti

L = rakenteen korkeus

b = tuulen kuormitusalueen leveys

Lopputaipuman laskenta esitetään kaavassa 16. Lopputaipumassa otetaan huomioon materiaalin virumaluku k_{def} . Rakennetta kuormittaa vain hetkellinen kuorma eli tuulikuorma. (12, s. 10, 8, Taul 3.2.)

$$w_{fin} = (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst}$$

KAAVA 16

w_{fin} = lopputaipuma

k_{def} = virumaluku

w_{inst} = hetkellinen taipuma

Ψ_2 = muuttuvan kuorman yhdistelmäkerroin psii

3.5 Laskentapohja

Luvussa 3.2, 3.3 ja 3.4 esitettyjen kaavojen pohjalta toteutettiin laskentapohja Excel-ohjelmalla. Pohjan avulla voidaan toteuttaa CLT-elementin mitoituksen perustapauksia. Laskentapohja on esitetty liitteessä 1. Laskentapohjasta pyrittiin tekemään mahdollisimman selkeä sekä ulkonäöllisesti että käytön kannalta ja sen käyttöä pyrittiin helpottamaan merkkamalla, mitä soluja saa ja pitää muokata toteuttaessa laskelmia.

Laskentapohjassa pyrittiin esittämään kaavat, joilla tulokset on laskettu. Laskettujen kaavojen vieressä esitettiin kaavassa käytetyt arvot, jotta laskentapohjan tarkastelu selkeytyisi. Laskentapohja rajattiin laskemaan 3- ja 5-lamellisia CLT-rakenteita.

Eurokoodien mukaiset kuormitusyhdistelmät täytyy erikseen liittää kuormiin. Tarvittaessa palo- ja värähtelymitoitus pitää ottaa huomioon erillisinä laskelmina, mikäli niille on tarvetta.

4 KOHTEEN KURKIMÄKI RAKENNERATKAISUJA

Rakennuskohde sijaitsee Kurkimäessä Kuopion sivukylällä ja rakennushankkeesta vastaa Rakennusliike Builtti Oy. Rakennus 1,5-kerroksinen omakotitalo (kuva 3). Rakennus on muodoltaan nelikulmainen, lähes neliön muotoinen, mikä yksinkertaistaa suunnittelua hieman. Kohteen piirustuksia on esitelty liitteessä 2.



KUVA 3. Havainnekuva-rakennuksesta

4.1 Ulkoseinät

4.1.1 Alakerta

Tilaajan pyyntönä oli etsiä kohteeseen sopiva seinärakenneratkaisu CLT:stä. Yhä useampi uuden talon ostaja ei haluaisi uuteen taloonsa höyrynsulkumuovilla toteutettua runkoratkaisua ja valitsee runkorakenteeksi CLT:n (13). CLT-levyn ilmavuoto on niin pientä, ettei sitä voida mitata, joten erillistä höyryn- ja ilmasulkukerrosta ei tarvita (14, s.3).

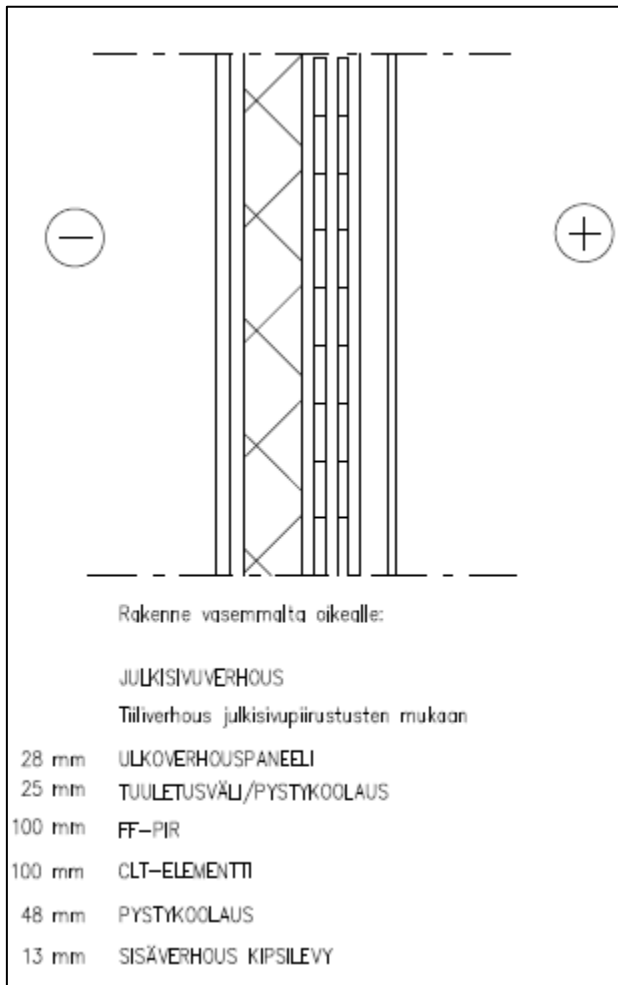
CLT-levyn paksuudeksi valittiin 100 mm. Seinän pitäisi täyttää sille asetettu U-arvon vertailuarvo. Taulukossa 5 on esitetty eri rakennusosien U-arvon vertailuarvoja. Ulkoseinällä vaatimus on $0,17 \text{ W/(mK)}$.

TAULUKKO 5. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvoja (15, s.14)

RAKENNUSOSAT	
U-arvot, W/(m ² K)	Vertailuarvo
Lämpimät tilat	
Ulkoseinä	0,17
Massiivipuuseinä ¹⁾	0,40
Yläpohja	0,09
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,09
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	0,17
Alapohja (maanvastainen)	0,16
Muu maanvastainen rakennusosa	0,16
Ikkunat	1,0
Ulko-ovet ja tuuletusluukut	1,0
Kattoikkunat	1,0
Kattovalokuvut	1,0

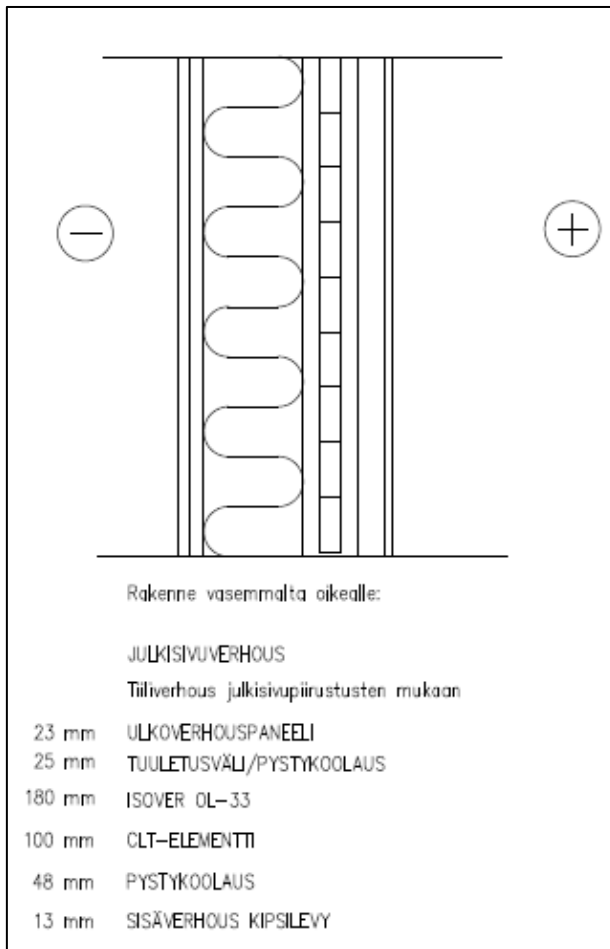
Kuvassa 4 ja 5 on esitetty runkorakenne, joka täyttää U-arvo vaatimukset. U-arvon laskennassa käytettiin DOF-LÄMPÖ-ohjelmaa. Ohjelmalla saatiin myös kosteus- ja lämpötiläkäyrät. Tulokset on esitetty liitteessä 4. Rakennusmateriaalin valinnassa on toteuduttava seinän rakennusfysikaaliset perusasiat.

Kuvassa neljä on CLT:n ulkopuolelle kiinnitetty Finnfoamin PIR-eriste, joka on helppo työstää tässä tilanteessa keveyden ja painumattomuuden takia. Koolaukset on helppo kiristää oikein, koska ne eivät uppoa eristeeseen ja aiheuta näin epätasaisuuksia ulkopinnassa. FF-PIR-eristeen lämmönjohtavuusarvo on 0,022 W/mK, joka mahdollistaa ohuempia rakenneratkaisuja (16). Kuvan neljä rakenteen U-arvoksi saatiin ohjelmalla 0,17 W/mK, joka täyttää ulkoseinälle annetut vaatimukset.



KUVA 4. Ulkoseinän rakenneratkaisu 1

Kuvassa viisi esiintyvän Isover OL-33 lämmönjohtavuusarvo 0,033 W/mK on hieman pienempi, kuin FF-PIR-eristeen. Kuvan viisi rakenteen rakennepaksuus kasvaa näin ollen hieman, mutta kiinnitys onnistuu edelleen samantapaisesti. Isover OL-33 on puolikova tuulensuojaeriste, jonka kiinnitys onnistuu hyvin koolauksilla. Eriste saattaa painua koolauksen kiinnityksissä, mutta toisella tai paksummalla koolauksella saadaan tuuletusväli turvattua.

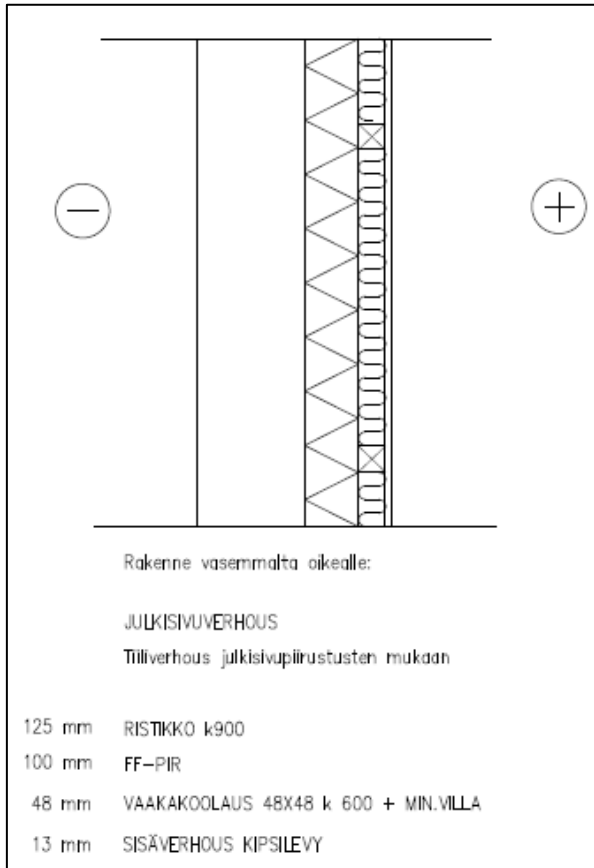


KUVA 5. Ulkoseinän rakenneratkaisu 2

Rakenteen valintaan vaikuttivat työstettävyys, hinta ja toimivuus. Kohteessa on tarkoitus rakentaa vesikatto perustusten päälle. Katto siirretään seinäelementtien asennusten ajaksi sivuun ja nostetaan sitten seinien päälle. Näin saadaan turvattua, etteivät seinäelementit pääse kastumaan.

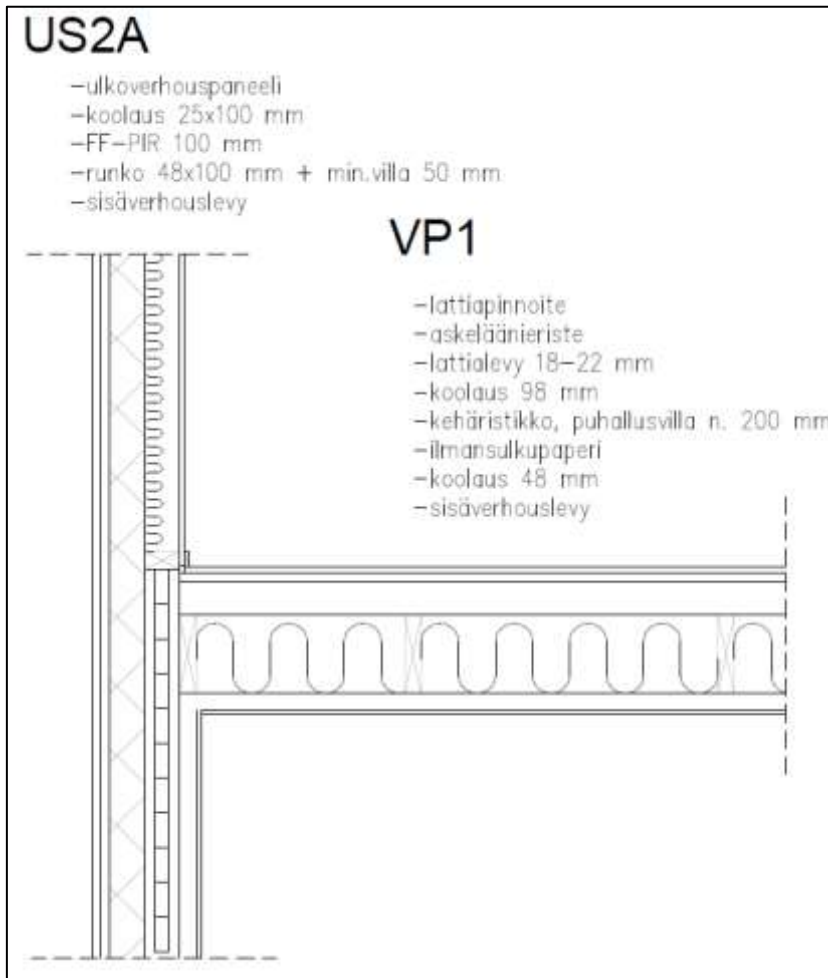
4.1.2 Yläkerta

Yläkerran seinät eli kehäristikkoon tulevien seinien suunnittelussa rakenteeksi valittiin kuvan 6 mukainen ratkaisu. Kehän sisäpuolelle kiinnitetään FF-PIR-eriste, joka toimii myös höyrynsulkuna. Eriste vieään yläpohjarakenteiden vastaavaan eristeeseen ja saumat ja liitokset teipataan ja tarvittaessa liimataan uretaanilla. Finnfoamin päälle kiinnitetään puukoolaus mineraalivillatäytöllä ja pintaan kipsilevy.



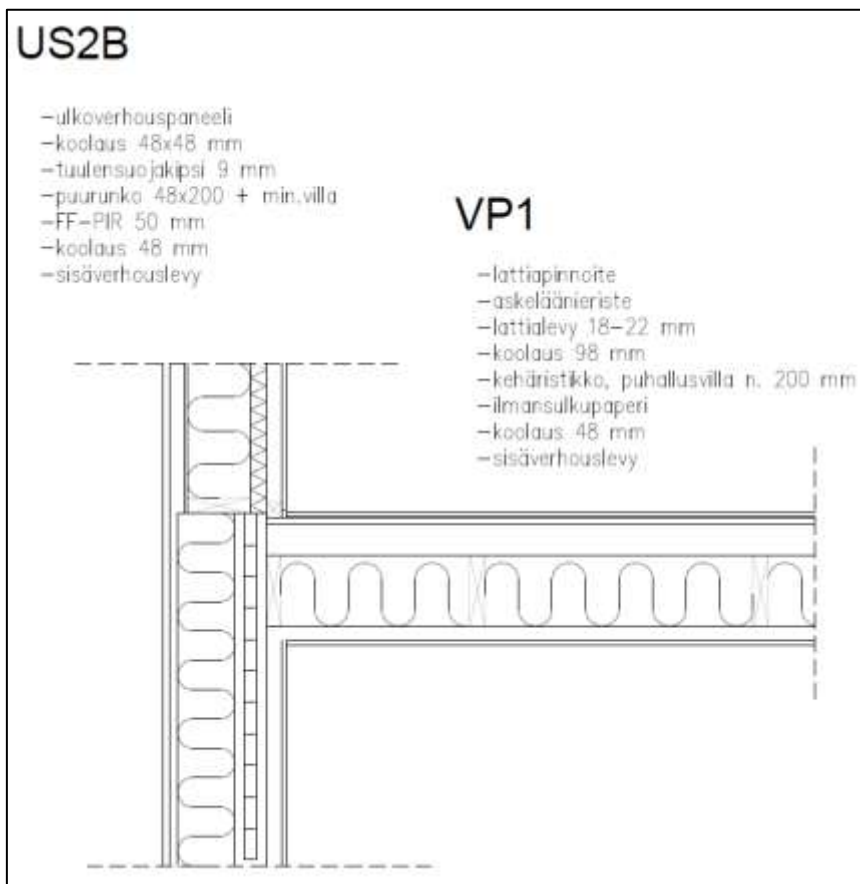
KUVA 6. Kehäristikon seinärakenne

Päätyseinät yläkerrassa sijoittuvat päätykolmioihin kokonaan. Rakenneratkaisu vaihtelee päätyseinien osalta 1. kerroksen seinän rakenteen mukaan. Suunnittelussa pyrittiin lämmöneristeen jatkuvuuteen rakenteiden välillä, jolloin turhilta kylmäsilloilta vältytään, ja toteutus on helpompaa. Ratkaisun pitää myös olla helposti toteutettavissa ja kustannuksellisesti järkevä. Kuvassa 7 näkyy 1. kerroksen seinärakenneratkaisun 1 liitos yläkerran seinärakenteeseen. Ensimmäisen kerroksen seinärakenne jatkuu samanlaisena ylös lukuun ottamatta CLT:ä, jonka tilalle tulee 100 mm:n puurunko 50 mm:n paksuisella eristeellä.



KUVA 7. Päätykolmion ja välipohjan liittyminen ulkoseinän rakenneratkaisuun 1

Seinärakenneratkaisu 2 on esitetty kuvassa 8, jossa näkyy myös seinien ja välipohjan liitos. Kantava osa rakenteesta siirtyy yläkerran kohdalla pääeristeen kohdalle, mikä vaikeuttaa suunnittelua. Yläkerran päätyseinässä rakenteena on 200 mm:n puurankarakenne villoituksella. Runkoon sisäpuolelle kiinnitetään 50 mm:n FF-PIR-eriste, joka toimii myös höyrynsulkuna. Näin ollen yläkerran seinissä ja katossa on samanlainen FF-PIR-eriste, jotka liitetään ja teipataan tiiviisti toisiinsa. Rungon ulkopuolelle tulee tuulensuojakipsilevy ennen koolausta ja ulkoverhouspaneelia.



KUVA 8. Päätykolmion ja välipohjan liittyminen ulkoseinän rakenneratkaisuun 2

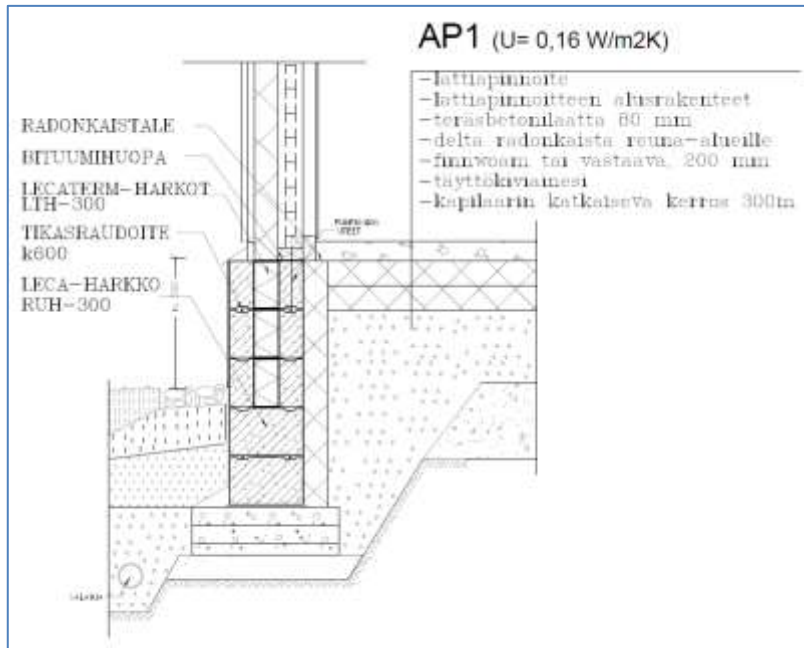
4.2 Perustukset ja alapohja

Maaperätutkimuksissa selvisi, että rakennuspaikalle voidaan rakentaa maanvaraisesti yhtenäiselle raudoitetulle perusmuurianturalle tai pilarianturoille. Geotekninen kantokyky tontilla on 150 kPa.

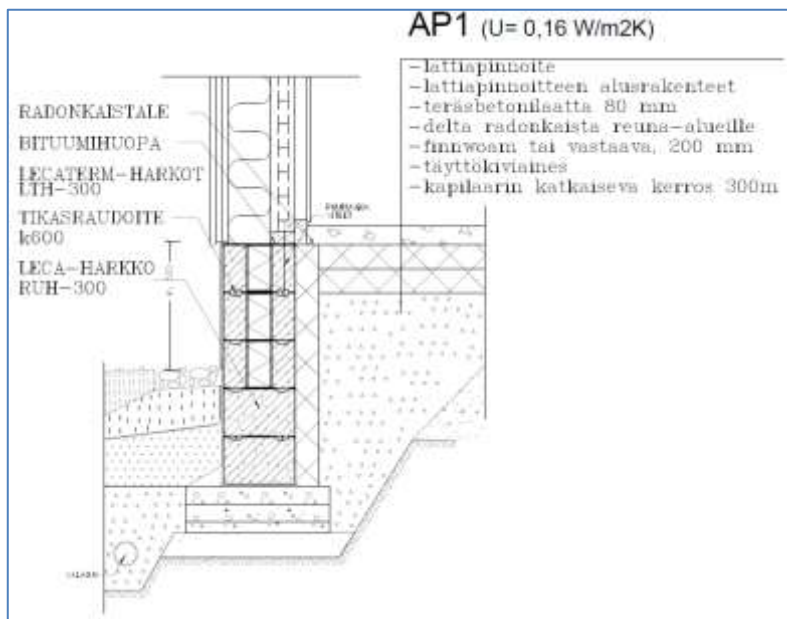
Perustukseksi valittiin 20 cm paksu ja 60 cm leveä antura, jonka päälle muurataan perusmuuriksi harkot. Harkoiksi valittiin kevytsoraharkot, jotka on katkaistu lämmöneristeellä. Kaksi alinta harkkokerrosta on ilman lämmöneristettä, koska halkaisua ei ole tarpeellista viedä alas asti. Halkaistu sokkeli valittiin, koska runkolinja on erillään eristelinjasta. Seinän ja perusmuurin lämmöneristykset ovat samassa linjassa, joten tässä ratkaisussa ei synny selkeitä kylmäsiltoja. Perustuseleikkaukset on esitetty kuvassa 9 ja 10.

Suomen ympäristöministeri on asettanut maanvaraiselle alapohjalle U-arvon vertailuarvoksi 0,16 W/m²K (taulukko 4). Rakenne suunnitellaan siten, että vaatimukset täyttyvät.

Alapohjana on maanvarainen betonilaatta, jossa on 20 cm eristettä. Lattiarakenteessa käytetty pohjana RT AP 417 -rakennetta (17, s.20).



KUVA 9. Perustusleikkaus ulkoseinällä 1

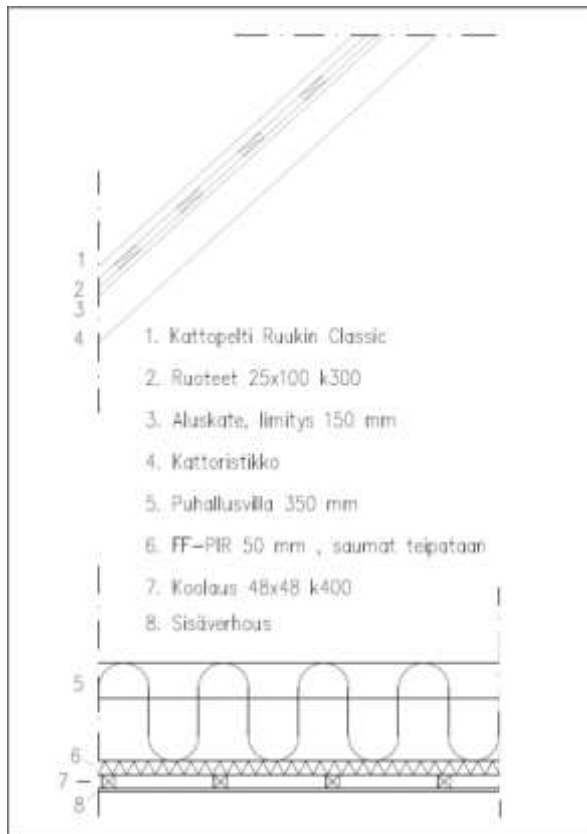


KUVA 10. Perustusleikkaus ulkoseinällä 2

4.3 Vesikatto ja yläpohja

Tilaajan vaatimuksena oli se, että vesikatteeksi laitetaan peltikate, joten vesikatteeksi valittiin Ruukki Classic -peltikate. Ristikoiden päälle asennetaan aluskate, joka jätetään roikkumaan ristikoiden välillä noin 10-20 mm. Aluskate kiinnitetään korotusrimalla, jonka tehtävänä on turvata riittävä ilmanvaihto ja suojata riman päälle tulevaa ruodelaudoitusta. Ruoteiden suunnittelussa on otettava huomioon lumiesteiden ja kulkusiltojen kohdat, koska ne vaativat lisäruoteita. Pellin ja ruoteiden väliin asennetaan solumuovinauha, joka vaimentaa sadeveden aiheuttamia ääniä.

Yläpohjan lämmönjohtavuuden vertailuarvo on $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ (taulukko 3). Vaadittuun arvoon pääseminen vaatii 500 mm puhallusvillaa. Tämän kohteen yläpohjaan tulee FF-PIR-eriste ja puhallusvillaa 350 mm, joilla saavutetaan vertailuarvo. FF-PIR-eriste toimii höyrynsulkuna yläpohjarakenteessa, joten erillistä höyrynsulkumuovia ei käytetä. FF-PIR-levyissä on foliopinta ja reunat pontattuja. Levyjen väliset saumat ja liittymät CLT-rakenteisiin teipataan huolellisesti. Vesikaton ja yläpohjan rakenne kuvassa 11.



KUVA 11. Vesikaton ja yläpohjan rakenne.

4.4 CLT-rakenteiden rakennelaskelmia

CLT:n rakennelaskelmia tehtiin luvussa 3.5 esitellyllä laskentapohjalla. Esimerkkinä tähän työhön liitettiin laskelmia rakennuksen yhdestä mitoittavasta CLT-seinästä (liite 2).

CLT-seinän laskelmia oli haastava tehdä, koska malleja ja esimerkkilaskelmia ei oikein ollut saatavilla. Laskentapohjaa ei suositella käytettävän ilman opastusta ja perehdytystä.

Kiinnostavinta ja haastavinta laskelmissa oli ratkaista CLT:n poikkileikkauksen tehollinen jäykkyys, joka eroaa normaalin sahatavaran laskelmista. Haastavinta oli tehdä laskentapohjasta helppokäyttöinen ja mahdollistaa vähäisillä muutoksilla uusi laskelma.

Mitoittaessa CLT:tä huomattiin, että 3-lamellisen CLT:n toimivuus palkkina on huomattavasti heikompaa kuin esimerkiksi 5-lamellisen CLT:n. Kiepahdustuen avulla ei tule suurempia ongelmia 3-lamellisen käytössä palkkina.

5 SEINÄRAKENTEEN KUSTANNUSVERTAILU

Kustannuslaskennassa käytettiin Rakennusliike Bultin Excel-ohjelmaan pohjautuvaa laskentakaaviota. Materiaalikustannuksia laskettaessa kustannukset arvioitiin tehtyjen tarjouspyyntöjen perusteella.

CLT-levyjen tarjouksia pyydettiin Suomesta, Virossa ja Puolasta, jotta saataisiin tietää eri maiden hintaluokka CLT:lle. Levyjä on mahdollista saada erilaisilla lisätyöillä, kuten sähköjohdoille tarvittavat työt ja aukkojen leikkaukset. Jos CLT jää näkyviin rakennuksessa, voidaan pinta hioa ja käsitellä. Levyn reunoille on mahdollista saada liitosta varten erilaisia sorvauksia, kuten puolipontti tai täyspontti.

Taulukossa 6 on esitetty eri rakenneratkaisuiden ja rakennustavan kustannusvertailua seinä rakenteen osalta. Taulukossa on esitetty myös rakennuksen kokonaiskustannukset tietyllä seinä ratkaisulla ja eritelty seinän osuus kokonaiskustannuksista. Seinä rakenteiden hinnat laskettiin täysin valmiille rakenteelle. Seinä rakenteiden kustannuslaskennan tarkemmin ositeltuja laskelmia on esitetty liitteessä 3.

TAULUKKO 6. Seinä rakenteiden hintavertailua

Seinä rakenteen kustannukset									
rakenne	työt €	materiaali €	yht alv 0%	erotus edullisimmasta	erotus x2	seinä €/m ²	Rakennus €/m ²	Yhteensä €	Seinän osuus %
CLT-runko FF-PIR	6115	18759	24874	-9726	-19453	183	1498	232264	11 %
CLT-runko ISOVER	5891	19030	24922	-9774	-19548	183	1499	232312	11 %
CLT-suurelementti	2347	38266	40613	-25465	-50931	299	1600	248003	16 %
Suurelementti	2307	18858	21165	-6017	-12035	156	1475	228555	9 %
Paikallarakennettu	6290	8858	15148	0	0	111	1436	222538	7 %
Huoneistoala	155 m ²								

Paikallarakentaminen eli ns. pitkästä rakentaminen osoittautui selvästi halvimmaksi ratkaisuksi, koska materiaali- ja työkustannuksissa ei synny välikäsiä vaan kaikki työ tehdään itse. Tehdyn työn kustannukset olivat suurimmat paikallarakennetussa, mutta materiaalikustannukset huomattavasti muita pienemmät. Paikallarakentamisen todettiin olevan kuitenkin hitaampaa verrattuna suurele-

menttirakentamiseen. Oikeanlaisilla työtekniikoilla ja hyvällä suunnittelulla aikataulussa syntyviä eroja saadaan pienennettyä, jolloin rakentaminen on lähes yhtä nopeaa.

Laskelmissa todettiin, että CLT-runkoisessa ratkaisussa rakentaminen on melkein pä CLT-elementtien hinnan verran kalliimpaa. Työstä aiheutuvat kustannukset putoavat noin 13 prosenttia. CLT nostaa materiaalikustannuksia noin 93 prosenttia, joten kokonaisuus on noin 50 prosenttia hintavampaa verrattuna edullisimpaan ratkaisuun. CLT-elementin eristevalinnalla ei näyttänyt olevan kustannuksiin suurempaa merkitystä, koska hintaluokat verratuilla eristeillä on lähes samat.

CLT-suurelementeillä rakennettaessa kustannusten havaittiin kasvavan hurjasti. Suurelementtien hintataso on Suomessa todella korkea vielä, koska toimittajia on vähän ja kilpailutusta ei ole riittävästi. Suurelementti-ratkaisussa työkustannukset verrattaessa paikallarakennettavaan pienenevät jopa 65 prosenttia, mutta materiaalikustannukset nousivat huimat 350 prosenttia.

Kun CLT-suurelementti rakentamisen kustannuksia verrattiin siihen, että CLT tilataan elementteinä ja muut rakennetaan paikan päällä, saatiin tietoa edullisimmasta CLT-rakentamisesta. Suurelementtirakentamisessa työkustannukset olivat noin 60 prosenttia pienemmät, mutta taas materiaalikustannuksissa noin 120 prosenttia korkeammat. Kokonaiskustannukset suurelementeissä olivat noin 76 prosenttia korkeammat.

Talotehtailta tulleiden rankarunkoisten suurelementtien kustannukset osoittautuivat hieman CLT-elementtirakentamista noin 13 prosenttia pienemmiksi, mikä ei ole rakennuksen kokonaiskustannuksen osalta kovin merkittävä ero. Kun suurelementtien kustannuksia verrattiin taas paikallarakennettuun, oli elementtiratkaisu noin 40 prosenttia hintavampi vaihtoehto. Suurelementtirakentamisessa työkustannukset olivat huomattavasti pienemmät, mutta elementtien hinta nosti kokonaiskustannukset korkeammaksi kuin paikallarakennetussa. Suurelementit toimitetaan ulkopinnan osalta täysin valmiina, mutta sisäpuolelle täytyy vielä asentaa mineraalivilla ja sisäverhouslevy.

6 YHTEENVETO

Tein opinnäytetyössäni laajan katsauksen CLT-rakentamisesta pientalossa. Työ on tehty rakennusliikkeen tarpeiden mukaan. Keskityin CLT-rakennratkaisuihin perehtyessäni erityisesti työssä esiteltyyn kohteeseen. CLT:n suunnittelemisen rakenteeksi on hieman erilaista kuin tavanomaisen rankarakenteen suunnittelu massiivisuuden ja pääeristeen sijainnin vuoksi.

Materiaalina CLT on hyvin ympäristöystävällinen ja tuo puurakentamista näkyviin. On harvinaista, että kantava runko jää näkyviin rakentamisessa, mutta CLT-rakentamisessa se on kannattavaa ja edustavaa. CLT:n muokkaamisen mahdollisuudet tuovat esiin paljon arkkitehtuurisia mahdollisuuksia. Mikäli CLT:n kehitys kasvaa Suomessa, avautuu CLT:lle paljon mahdollisuuksia eri rakenteissa ja rakennelmissa.

Kustannuksellisesti CLT on vielä kovin kallis materiaali, mutta kysynnän ja kilpailun kasvaessa hinta tulee laskemaan kilpailukykyiselle tasolle. CLT:n hinta Suomessa on korkeampi kuin muissa Euroopan maissa. Esimerkiksi Virossa CLT:n neliöhinta on noin 20 €/m² edullisempaa kuin Suomessa.

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin siihen, miten erilaiset CLT-seinärakenteet pärjäävät kustannuksellisesti perinteisille suurelementti ja rankarakentamiselle. CLT-rakenteisessa seinässä työn määrä on huomattavasti vähäisempää kuin rankarakentamisessa, mutta CLT:n kovan hinnan takia paljon kalliimpaa.

Olisi rahallisesti järkevää rakentaa halvimalla tyylillä. Se, tekeekö CLT rakennuksesta arvokkaamman ja vaikuttaako CLT talon myyntihintaan ja myyntiin, on vielä mahdotonta sanoa. Se kuitenkin tiedetään, että CLT:n ympäristöystävällisyys ja mahdolliset terveysvaikutukset nostavat rakennuksen hintaa.

Perehdyin opinnäytetyössäni tarkemmin CLT:n mitoituksen perustapauksiin. Laskelmista tein Excel-ohjelmalla laskentapohjan (liite 1), jolla voi mitoittaa CLT-seinän taivutusta, puristusta ja taipumaa. Laskentapohja on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaiseksi käyttää. Tiettyjä arvoja täytyy aina koh-

teen mukaan muokata, joten muokattavat kohdat on eritelty laskennoissa. Laskentapohjan oikeellisuutta tarkastettiin eri laskelmien vertailulla ja tulokset eivät juurikaan eronneet toisistaan.

Kehitysmahdollisuuksia olisi laskentapohjan laajentaminen esimerkiksi värähtelymitoituksella. Tämän opinnäytetyön pohjalta olisi helppo alkaa suunnittelemaan rakennusta, joka on täysin CLT-runkoinen. Myös ylä- ja alapohjat olisi toteutettu CLT:stä. Tämä toisi myös mahdollisuuksia kehittää laskentapohjaa laatan laskelmilla.

LÄHTEET

1. CLT Ristiinliimattu massiivipuu (cross laminated timber). 2011. Puuinfo. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber>. Hakupäivä 5.12.2017.
2. Crosslam. CLT-suunnittelun ohje. 2018. Pdf-julkaisu.
3. Mikä CLT? Perustietoa CLT:stä. 2017. Kiintopuu. Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/fi/etusivu/mika-clt-perustietoa-cltsta.html>. Hakupäivä 2.12.2017.
4. CLT-ristiinliimattu massiivipuulevy. 2011. Tekninen tiedote. Puuinfo. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber/clt.pdf>. Hakupäivä 2.12.2017.
5. Autioniemi, Juha – Pirttinen, Valtteri – Vatanen, Mikko 2014. CLT-koetalon lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan analysointiraportti Q2/2014. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/83346/Autioniemi%20Pirttinen%20Vatanen%20B%2020%202014.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Hakupäivä 2.12.2017.
6. SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliitto SFS.
7. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. 2017. Suomen säädöskokoelma. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B66288BFB-A697-4FCB-B602-CE0316F2C37B%7D/134002>. Hakupäivä 10.4.2018.
8. RIL 205-1-2017. CLT lisäohjeet: CrossLam Kuhmo CLT. 2017. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Saatavissa: <http://www.ril.fi/kirjakauppa/attachment/download/321-b99eb755bb7d6f3f1a14cd618b2f9bf5>. Hakupäivä 10.4.2018.

9. Kilpinen, Pekka 2016. T512905 Puurakenteet 1 5 op. Opintojakson luennot keväällä 2016. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
10. RIL 205-1-2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Eurokoodi EN 1995-1-1. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
11. EC5 sovelluslaskelmat, asuinrakennus. 2010. Toinen painos. Eurokoodi 5. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit-ja-standardit/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus0.pdf>. Hakupäivä 2.4.2017.
12. Puurakenteiden suunnittelu. 2011. Lyhennetty suunnitteluohje. Kolmas painos. Eurokoodi 5. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi5lyhennettysuunnitteluohjeweewwwkolmaspainos10913rilinkorjauksin.pdf>. Hakupäivä 2.4.2017.
13. Pahkala, Samuli 2018. Toimitusjohtaja, Rakennusliike Builtti Oy. Haastattelu 6.4.2018.
14. Stora Enso CLT. 2017. Technical brochure. Building solutions. Stora Enso. Saatavissa: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2017/09/Technical-brochure-CLT-EN.pdf>. Hakupäivä 8.4.2018.
15. Tasauslaskentaopas 2018. 2017. Rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukainen osoittaminen. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B8DA891B6-94AC-4367-9E45-D59ECED00CCF%7D/133703>. Hakupäivä 7.4.2018.
16. FF-PIR. 2017. Esite. Finnfoam Oy.
17. RT 83-11009. 2010. Alapohjarakenteita. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/11009.html.stx> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 20.5.2018.

CLT SEINÄN LASKELMAT					Esimerkki
1. CLT- rakenne:					
Korkeus l	3000	mm			
Leveys b	1000	mm			
Kerrospaksuus		Yksikkö	Materiaali		
Lamelli 1	30	mm	C24		
Lamelli 2	40	mm	C24		
Lamelli 3	30	mm	C24		
Lamelli 4		mm			
Lamelli 5		mm			
Paksuus	100	mm	C24		
Aikaluokka	Hetkellinen				
Käyttöluokka	1				
Sakara	0,6				
2. Kuormat:					
			KT 1	KT 2	KT 3
Taivutuksen mitoitusarvo	M_d		0,000	0,478	0,797
Leikkaavan kuorman mitoitusarvo	V_d		0,000	0,383	0,638
Hyötykuorman ominaisarvo	q_k		43,333	43,333	30,333
Pysyvänkuorman ominaisarvo	g_k		19,933	19,933	19,933
Tuulikuorman ominaisarvo	q_{wk}		0,000	0,425	0,709
3. Tulokset					
		Käyttöaste	Tulos		
KT 1	Taivutus ja puristus	14,36 %	OK		
	Leikkausmitoitus	0,00 %	OK		
KT 2	Taivutusmitoitus	15,88 %	OK		
	Leikkausmitoitus	0,50 %	OK		
KT 3	Taivutusmitoitus	13,93 %	OK		
	Leikkausmitoitus	0,84 %	OK		
	Taipumamitoitus	Taipuma [mm]	Taipumaraja [mm]	Käyttöaste	Tulos
KT 1	Hetkellinen	0,00	10,00	0,0 %	OK
	Lopputaipuma	0,00	10,00	0,0 %	OK
KT 2	Hetkellinen	0,37	10,00	3,7 %	OK
	Lopputaipuma	0,37	10,00	3,7 %	OK
KT 3	Hetkellinen	0,62	10,00	6,2 %	OK
	Lopputaipuma	0,62	10,00	6,2 %	OK

Poikkileikkauksen tehollinen jäykkyys (EI) _{eff}			
$I_{ef} = \sum_{i=1}^n (I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$			
$\gamma_i = \frac{1}{1 + \left(\pi^2 \cdot \frac{E_{0,mean} \cdot A_i \cdot d_{ij}}{l^2 \cdot G_{R,mean} \cdot b} \right)}$			
$a_1 = \left(\frac{h_1}{2} + d_{32} + \frac{h_2}{2} \right) - a_2$			
Symmetrisessä 5-kerroslevyssä $a_2 = 0$ ja $g_1 = g_3$			
I_{ef}	67073637		
γ_1	0,851		
E_1	11500 N/mm ²	E_2	11500 N/mm ²
I_y	2250000 mm ⁴	I_z	5333333 mm ⁴
		γ_2	1,000
a_1	35 mm	a_2	0 mm
A_1	30000 mm ²	A_2	40000 mm ²
B_c	0,1		
I_{etL}	4500000		
(EI) _{eff}	7,713E+11 Nmm ²		
W_{etL}	97086		
$S_{et,1}$	940514		
A_{ef}	60000		
Taivutusjännityksen mitoitusarvo $\sigma_{m,y,d}$			
$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{I_{ef}} \cdot \left(\gamma_i \cdot a_i + \frac{h_i}{2} \right)$			
		$M_d\ 1$	0 N/mm
		$M_d\ 2$	478406 N/mm
		$M_d\ 3$	797344 N/mm
		I_{ef}	6,7E+07
KT 1	$\sigma_{m,y,d} =$ 0,000 N/mm ²	γ_1	0,851
KT 2	$\sigma_{m,y,d} =$ 0,320 N/mm ²	a_1	35 mm
KT 3	$\sigma_{m,y,d} =$ 0,533 N/mm ²	h_1	30 mm

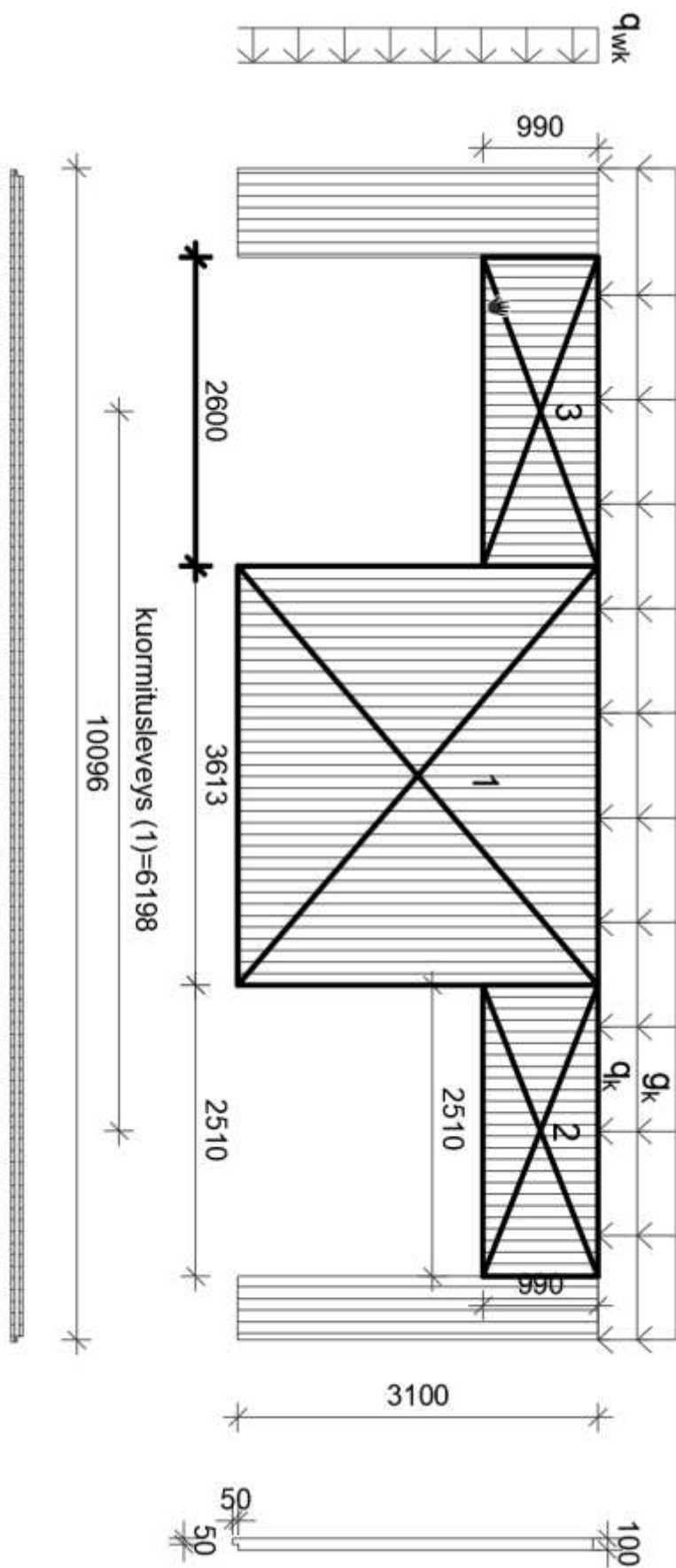
Taivutuslujuuden mitoitusarvo $f_{m,y,d}$									
$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$					k_{mod}	1,1			
					$f_{m,k}$	24			
					γ_m	1,25			
$f_{m,d} =$									
	21,12	N/mm ²							
Puristusjäännityksen mitoitusarvo $\sigma_{c,o,d}$									
$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A}$					B	1 (kuormitusleveys)			
					A	60000 mm ²			
KT 1	$\sigma_{c,o,d} =$	1,05444	N/mm ²		KT 1	N_d	63267	N	
KT 2	$\sigma_{c,o,d} =$	1,05444	N/mm ²		KT 2	N_d	63267	N	
KT 3	$\sigma_{c,o,d} =$	0,83778	N/mm ²		KT 3	N_d	50267	N	
Puristuslujuuden mitoitusarvo $f_{c,o,d}$									
$f_{c,o,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,o,k}}{\gamma_m}$					k_{mod}	1,1			
					$f_{c,o,k}$	21			
					γ_m	1,25			
$f_{c,o,d} =$									
	18,48	N/mm ²							

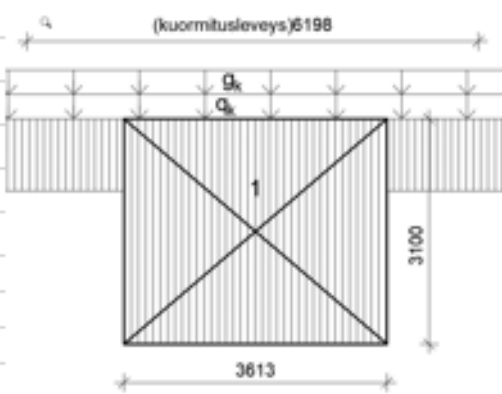
Nurjahduskerroin $k_{c,y}$										
$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$				$L_{c,z}$	3000	mm				
				i_y	33,4	mm				
				$f_{c,0,k}$	21					
$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$				$E_{0,005}$	7400					
$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$										
$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y}$										
$\lambda_y =$	89,73	N/mm ²								
$\lambda_{rel} =$	1,521									
$k_y =$	1,719									
$k_{c,y} =$	0,397	OK								

Mitoitusehto (taivutus 1 suunta ja puristus)									
$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,d}} \leq 1$									
KT	Mitoitus	Käyttöaste							
1	0,144	14,4 %	OK						
2	0,159	15,9 %	OK						
3	0,139	13,9 %	OK						

Taipumamitoitus (hetkellinen)									
$w_{inst} = \frac{5 \cdot b \cdot c_{p,net} \cdot q_k(h) \cdot L^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_{ef}}$				b	1	m			
				c _{p,net}	1,3				
				q _k (h)	0,35	kN/m ²			
				L	3000	mm			
				E _{0,mean}	11500	N/mm ²			
				I _{ef}	6,7E+07	mm ⁴			
				Taipumaraja L/300 (pääkannattime					
				10 mm					
KT	W _{inst,Q} (mm)	Käyttö-aste							
1	0,00	0,00 %	OK						
2	0,37	4 %	OK						
3	0,62	6,22 %	OK						
Lopputaipuma									
$w_{fin} = (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst}$				k _{def}	0,6				
				Ψ ₂	0				
				Taipumaraja L/300 (pääkannattime					
				10 mm					
KT	W _{fin} (mm)	Käyttö-aste							
1	0,00	0,00 %	OK						
2	0,37	3,73 %	OK						
3	0,62	6,22 %	OK						

LEIKKAUSMITOITUS								
Arvoja								
A =	100000	mm ²						
k _{mod}	1,1							
Y _m	1,25							
f _{v,k}	3,2							
Leikkauksen mitoitussännitys τ _d								
$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A}$					A	100000		
					KT	V _d		
					1	0		
					2	0,382725		
					3	0,637875		
KT 1	0	N/mm ²			B	1	(kuormitusleveys)	
KT 2	0,005741	N/mm ²						
KT 3	0,009568	N/mm ²						
Leikkauksen mitoitusehto τ _d ≥ f _{vd}								
$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{r,K,0}}{Y_m}$					f _{R,k,0}	1,3		
					Y _m	1,25		
					k _{mod}	1,1		
f _{v,d}	1,14	N/mm ²						
Käyttöaste								
KT 1	0,00 %	OK						
KT 2	0,50 %	OK						
KT 3	0,84 %	OK						



CLT SEINÄN LASKELMAT				Pientalo Kuopio			
1. CLT- rakenne:							
Korkeus l	3100	mm					
Leveys b	3613	mm					
Kerrospaksuus		Yksikkö	Materiaali				
Lamelli 1	30	mm	C24				
Lamelli 2	40	mm	C24				
Lamelli 3	30	mm	C24				
Lamelli 4		mm					
Lamelli 5		mm					
Paksuus	100	mm	C24				
Aikaluokka		Hetkellinen					
Käyttöluokka		1					
Sakara		0,6					
2. Kuormat:							
				KT 1	KT 2	KT 3	
Taivutuksen mitoitusarvo	M_d			0,000	0,511	0,851	kNm
Leikkaavan kuorman mitoitusarvo	V_d			0,000	0,678	1,131	kN
Hyötykuorman ominaisarvo	q_k			9,367	9,367	6,557	kN/m
Pysyvätkuorman ominaisarvo	g_k			16,091	16,091	16,091	kN/m
Tuulikuorman ominaisarvo	q_{wk}			0,000	0,425	0,709	kN/m
3. Tulokset							
		Käyttöaste	Tulos				
KT 1	Taivutus ja puristus	2,89 %	OK				
	Leikkausmitoitus	0,00 %	OK				
KT 2	Taivutusmitoitus	3,66 %	OK				
	Leikkausmitoitus	0,25 %	OK				
KT 3	Taivutusmitoitus	3,85 %	OK				
	Leikkausmitoitus	0,41%	OK				
	Taipumamitoitus	Taipuma [mm]	Taipumaraja [mm]	Käytösaste	Tulos		
KT 1	Hetkellinen	0,00	10,33	0,0 %	OK		
	Lopputaipuma	0,00	10,33	0,0 %	OK		
KT 2	Hetkellinen	0,42	10,33	4,1 %	OK		
	Lopputaipuma	0,42	10,33	4,1 %	OK		
KT 3	Hetkellinen	0,70	10,33	6,8 %	OK		
	Lopputaipuma	0,70	10,33	6,8 %	OK		

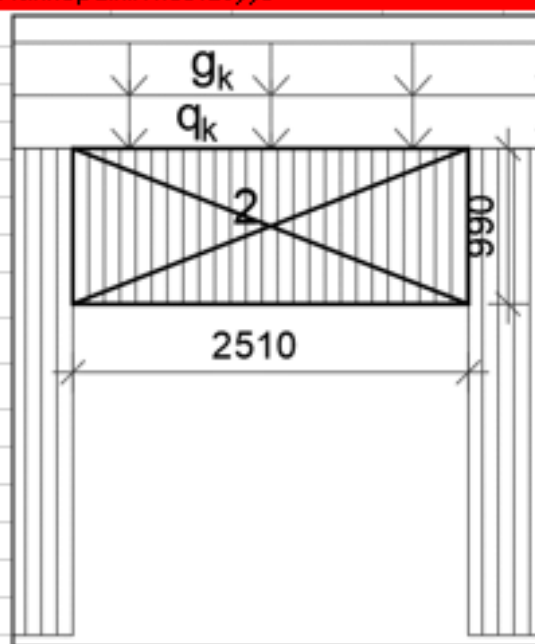
[illegible]

Taipumamitoitus (hetkellinen)									
$w_{inst} = \frac{5 \cdot b \cdot c_{p,net} \cdot q_k(h) \cdot L^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_{ef}}$				b	3,613	m			
				c _{p,net}	1,3				
				q _k (h)	0,35	kN/m ²			
				L	3100	mm			
				E _{0,mean}	11500	N/mm ²			
				I _{ef}	2E+08	mm ⁴			
				Taipumaraja L/300 (pääkannattimet)					
				10,333 mm					
KT	W _{inst,Q} (mm)	Käyttö-aste							
1	0,00	0,00 %	OK						
2	0,42	4 %	OK						
3	0,70	6,80 %	OK						
Lopputaipuma									
$w_{fin} = (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst}$				k _{def}	0,6				
				Ψ ₂	0				
				Taipumaraja L/300 (pääkannattimet)					
				10,333 mm					
KT	W _{fin} (mm)	Käyttö-aste							
1	0,00	0,00 %	OK						
2	0,42	4,08 %	OK						
3	0,70	6,80 %	OK						

LEIKKAUSMITOITUS									
Arvoja									
A =	361300	mm ²							
k _{mod}	1,1								
γ _m	1,25								
f _{v,k}	3,2								
Leikkauksen mitoitusjännitys τ_d									
					A	361300			
$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A}$					KT	V _d			
					1	0			
	τ _d				2	0,678439			
KT 1	0	N/mm ²			3	1,130732			
KT 2	0,002817	N/mm ²			B	1,715472	(kuormitusleveys)		
KT 3	0,004694	N/mm ²							
Leikkauksen mitoitusehto τ_d ≥ f_{vd}									
					f _{R,k,0}	1,3			
$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{r,K,0}}{\gamma_m}$					γ _m	1,25			
					k _{mod}	1,1			
f _{v,d}	1,14	N/mm ²							
	Käyttöaste								
KT 1	0,00 %	OK							
KT 2	0,25 %	OK							
KT 3	0,41 %	OK							

Aukkopalkin kestävyys

Pientalo Kuopio



Aikaluokka	Hetkellinen
Käyttöluokka	1
Sakara	0,3

Mitat

L	2510	mm
h	990	mm

Kuormat

	KT 1	KT 2	KT 3
G _k	16,09	16,09	16,09
Q _k	9,37	9,37	6,56

Tulokset

Taivutuskestävyys

KT 1	14,5 %	OK
KT 2	14,5 %	OK
KT 3	12,9 %	OK

Leikkauskestävyys

KT 1	16,3 %	OK
KT 2	16,3 %	OK
KT 3	12,7 %	OK

Taipuma

	0,86 %	OK
--	--------	----

Kiepahdus

KT 1	87,9 %	OK
KT 2	87,9 %	OK
KT 3	78,2 %	OK

Tehollinen jäyhyysmomentti							
$I_{ef,y} = \frac{b_{ef} \cdot h^3}{12}$				b_{ef}	40	mm	
				h	990	mm	
				L	2510	mm	
				Lamnellit	3	kpl	
I_{ef}	3234330000						
Tehollinen taivutusvastus							
$W_{ef,y} = \frac{b_{ef} \cdot h^2}{6}$							
$W_{ef,y}$	6534000						
Poikkileikkausala leikkausmitoituksessa							
$A = k_{cr} \cdot b \cdot h$				k_{cr}	1		
				b	100		
				h	990		
A	99000	mm ²					
Taivutuskestävyys							
$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{ef,y}}$				k_{mod}	1,1		
				$f_{m,k}$	24		
				γ_m	1,25		
					M_d		
$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m,k}$				KT 1	20,05		
				KT 2	20,05		
				KT 3	17,84		
$f_{m,d}$	21,12						
	$\sigma_{m,y,d} =$	Käyttö-aste					
KT 1	3,068	14,5 %	OK				
KT 2	3,068	14,5 %	OK				
KT 3	2,730	12,9 %	OK				

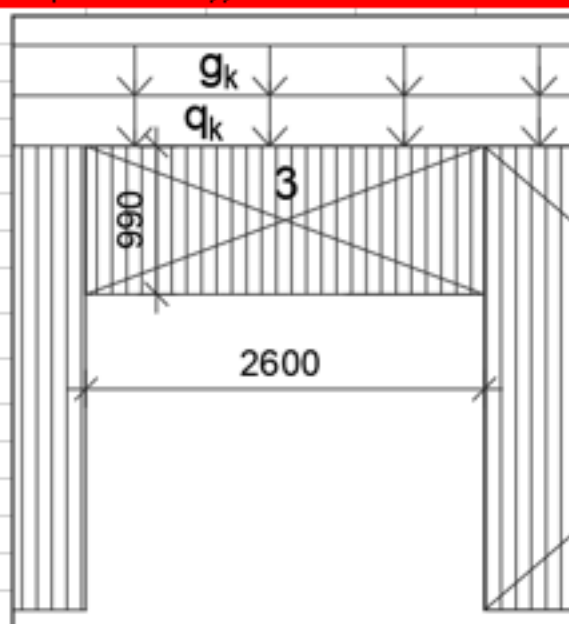
Leikkauskestävyys							
$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A}$				KT	V_d		
					1	31,95	
					2	31,95	
					3	28,42	
$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m}$				A	99000		
				k_{mod}	0,8		
				$f_{v,k}$	1,88		
				γ_m	1,25		
$f_{v,d}$	1,2032	N/mm ²					
	τ_d (N/mm ²)	Käyttöaste					
KT 1	0,512	42,5 %	OK				
KT 2	0,512	42,5 %	OK				
KT 3	0,455	37,8 %	OK				
Taipuma							
$w_{inst,g} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_{ef,y}}$				L	2510	mm	
				$E_{0,mean}$	11500	N/mm ²	
				I_{ef}	3234330000	mm ⁴	
$w_{inst,q} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_{ef,y}}$				k_{def}	0,6		
				sakara	0,3		
$w_{fin} = w_{inst,g} \cdot (1 + k_{def}) + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,q}$							
$w_{inst,g}$	0,03						
$w_{inst,q}$	0,015						
w_{inst}	0,05						
kt	w_{fin}						
1	0,072						
2							
3							
Taipumaraja L/300 (pääkannattimet)				8,37	mm		
w_{fin} (mm)	Käyttöaste						
0,07	0,86 %	OK					

Kiepahduskestävyys					
$A_1 = b \cdot h_1$ $\gamma_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot E_{0,mean} \cdot A_1}{I_{ef}^2} \cdot \frac{t}{G_{R,mean} \cdot b} \right)}$ $I_{z,1} = \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2$ $I_{ef,z} = 2 \cdot I_{z,1}$		h	990		
		l	2510		
		I _{ef}	4239		
		E _{0,mean}	11500		
		G _{R,mean}	65		
$I_{z,1} = \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2$		t	10		
		b=h	990		
		h ₁	30		
		a ₁	20		
A	39600				
γ ₁	0,963				
I _{z,1}	17474832				
I _{ef,z}	17474832				
Vääntöjäyhyysmomentti					
$I_{tor} = \frac{h \cdot b_{ef}^3 \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{b_{ef}}{h} \right)}{3}$		b _{ef}	40		
		h	990		
I _{tor}	20582400				

Kriittinen taivutusjännitys							
$E_{0,mean}$	11500						
$E_{0,05}$	7400						
$G_{0,05}$	460						
$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_{ef,z} \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_{ef,y}}$							
$\sigma_{m,crit}$	3,968776269						
Jännitystarkastus							
$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$				$f_{m,d}$	21,12		
				$f_{m,k}$	24		
$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m}^2$				k_{crit}		ehto	
$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$				1	1	$\lambda_{rel,m} < 0,75$	
				$1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m}^2$	-0,284329767	$0,75 < \lambda_{rel,m} < 1,4$	
$\lambda_{rel} =$	2,459			$1/\lambda_{rel,m}^2$	0,165365678	$1,4 < \lambda_{rel,m}$	
				k_{crit}	0,165		
kt	$\sigma_{m,y,d} =$	$k_{crit} \cdot f_{m,d}$	käyttöaste				
1	3,068289655	3,492523	87,9 %	OK			
2	3,068289655	3,492523	87,9 %	OK			
3	2,729614101	3,492523	78,2 %	OK			

Aukkopalkin kestävyys

Pientalo Kuopio



Aikaluokka	Hetkellinen
Käyttöluokka	1
Sakara	0,3

Mitat

L	2600	mm
h	990	mm

Kuormat

	KT 1	KT 2	KT 3
G _k	16,09	16,09	16,09
Q _k	9,37	9,37	6,56

Tulokset

Taivutuskestävyys

KT 1	15,6 %	OK
KT 2	15,6 %	OK
KT 3	13,9 %	OK

Leikkauskestävyys

KT 1	16,3 %	OK
KT 2	16,3 %	OK
KT 3	12,7 %	OK

Taipuma

	0,95 %	OK
--	--------	----

Kiepahdus

KT 1	96,0 %	OK
KT 2	96,0 %	OK
KT 3	85,4 %	OK

Tehollinen jäyhyysmomentti							
$I_{ef,y} = \frac{b_{ef} \cdot h^3}{12}$				b_{ef}	40	mm	
				h	990	mm	
				L	2600	mm	
				Lamnellit	3	kpl	
I_{ef}	3234330000						
Tehollinen taivutusvastus							
$W_{ef,y} = \frac{b_{ef} \cdot h^2}{6}$							
$W_{ef,y}$	6534000						
Poikkileikkausala leikkausmitoituksessa							
				k_{cr}	1		
$A = k_{cr} \cdot b \cdot h$				b	100		
				h	990		
A	99000	mm ²					
Taivutuskestävyys							
				k_{mod}	1,1		
$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{ef,y}}$				$f_{m,k}$	24		
				γ_m	1,25		
$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot f_{m,k}$				M_d			
				KT 1	21,51		
				KT 2	21,51		
$f_{m,d}$	21,12			KT 3	19,14		
	$\sigma_{m,y,d} =$	Käyttö-aste					
KT 1	3,292	15,6 %	OK				
KT 2	3,292	15,6 %	OK				
KT 3	2,929	13,9 %	OK				

Leikkauskestävyys							
$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A}$				KT	V _d		
				1	33,09		
				2	33,09		
				3	29,44		
$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m}$				A	99000		
				k _{mod}	0,8		
				f _{v,k}	1,88		
				γ _m	1,25		
f _{v,d} 1,203 N/mm ²							
	τ _d (N/mm ²)	Käyttöaste					
KT 1	0,494	41,1 %	OK				
KT 2	0,494	41,1 %	OK				
KT 3	0,439	36,5 %	OK				
Taipuma							
$w_{inst,g} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_{ef,y}}$				L	2600	mm	
				E _{0,mean}	11500	N/mm ²	
				I _{ef}	3234330000	mm ⁴	
$w_{inst,q} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I_{ef,y}}$				k _{def}	0,6		
				sakara	0,3		
$w_{fin} = w_{inst,g} \cdot (1 + k_{def}) + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,q}$							
W _{inst,g}	0,04						
W _{inst,q}	0,017						
W _{inst}	0,06						
kt	W _{fin}						
1	0,082						
2							
3							
Taipumaraja L/300 (pääkannattimet)				8,666667	mm		
W _{fin} (mm)	Käyttöaste						
0,08	0,95 %	OK					

Kiepahduskestävyys					
$A_1 = b \cdot h_1$		h	990		
		l	2600		
		l_{ef}	4320		
$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot E_{0,mean} \cdot A_1}{l_{ef}^2} \cdot \frac{t}{G_{R,mean} \cdot b} \right)}$		$E_{0,mean}$	11500		
		$G_{R,mean}$	65		
		t	10		
		b=h	990		
		h_1	30		
$I_{x1} = \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2$		a_1	20		
$I_{ef,x} = 2 \cdot I_{x1}$					
A	39600				
γ_1	0,964				
I_{x1}	17496055				
$I_{ef,x}$	17496055				
Vääntöjäyhyysmomentti					
$I_{tor} = \frac{h \cdot b_{ef}^3 \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{b_{ef}}{h} \right)}{3}$		b_{ef}	40		
		h	990		
I_{tor}	20582400				

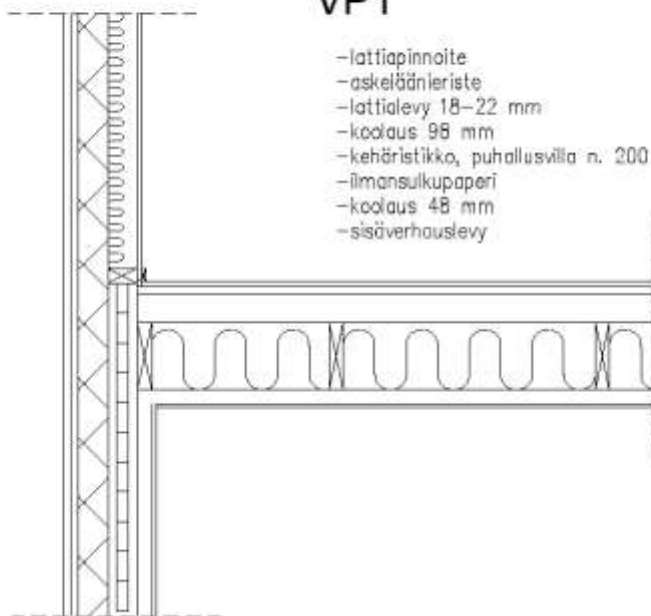
Kriittinen taivutusjännitys			
$E_{0,mean}$	11500		
$E_{0,05}$	7400		
$G_{0,05}$	460		
$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_{ef,z} \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_{ef,y}}$			
$\sigma_{m,crit}$	3,897		
Jännitystarkastus			
$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$		$f_{m,d}$	21,12
		$f_{m,k}$	24
$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m}^{-1}$		k_{crit}	ehto
$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$		1	1 $\lambda_{rel,m} < 0,75$
		$1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m}^{-1}$	-0,30130251 $0,75 < \lambda_{rel,m} < 1,4$
$\lambda_{rel} =$	2,482	$1/\lambda_{rel,m}^2$	0,162363573 $1,4 < \lambda_{rel,m}$
		k_{crit}	0,162363573
kt	$\sigma_{m,y,d} =$	$k_{crit} \cdot f_{m,d}$	käyttöaste
1	3,292	3,429	96 % OK
2	3,292	3,429	96 % OK
3	2,929	3,429	85 % OK

US2A

- ulkoverouspaneeli
- koolaus 25x100 mm
- FF-PIR 100 mm
- runko 48x100 mm + min.villa 50 mm
- sisäverouslevy

VP1

- lattiainnoite
- askeleäänieriste
- lattialevy 18-22 mm
- koolaus 98 mm
- kehäristikko, puhallusvilla n. 200 mm
- ilmansulkupaperi
- koolaus 48 mm
- sisäverhoauslevy

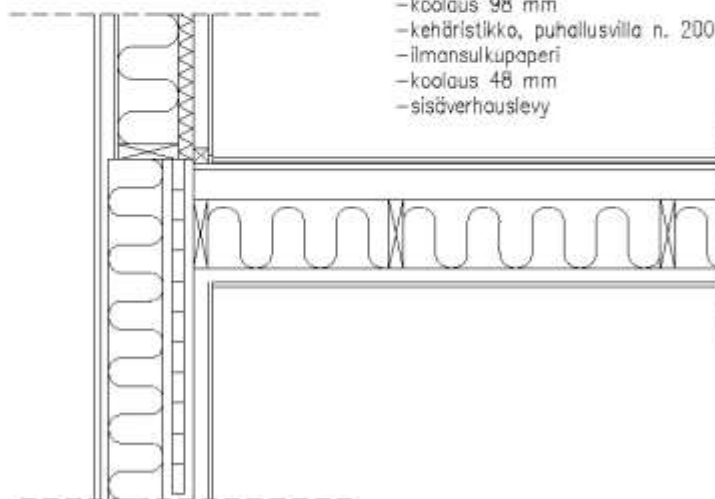
[illegible]

US2B

- ulkoverhouspaneeli
- koolaus 48x48 mm
- tuulensuojakipsi 9 mm
- puurunko 48x200 + min.villa
- FF-PIR 50 mm
- koolaus 48 mm
- sisäverhouslevy

VP1

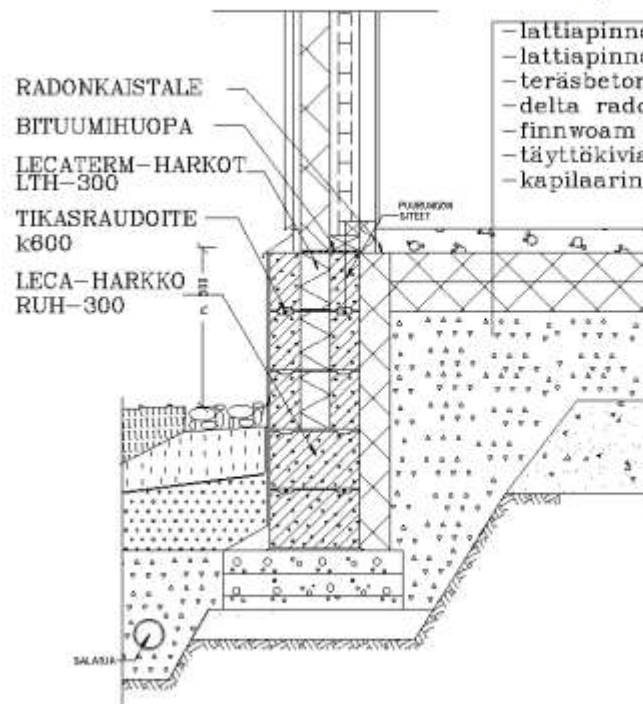
- lattiapinnolta
- askeläänieriste
- lattialievyy 18-22 mm
- koolaus 98 mm
- kehäristikko, puhallusvilla n. 200 mm
- ilmansulkupaperi
- koolaus 48 mm
- sisäverhousolevy

[illegible]

PERUSTUSLEIKKAUS 1:10

AP1 (U= 0,16 W/m²K)

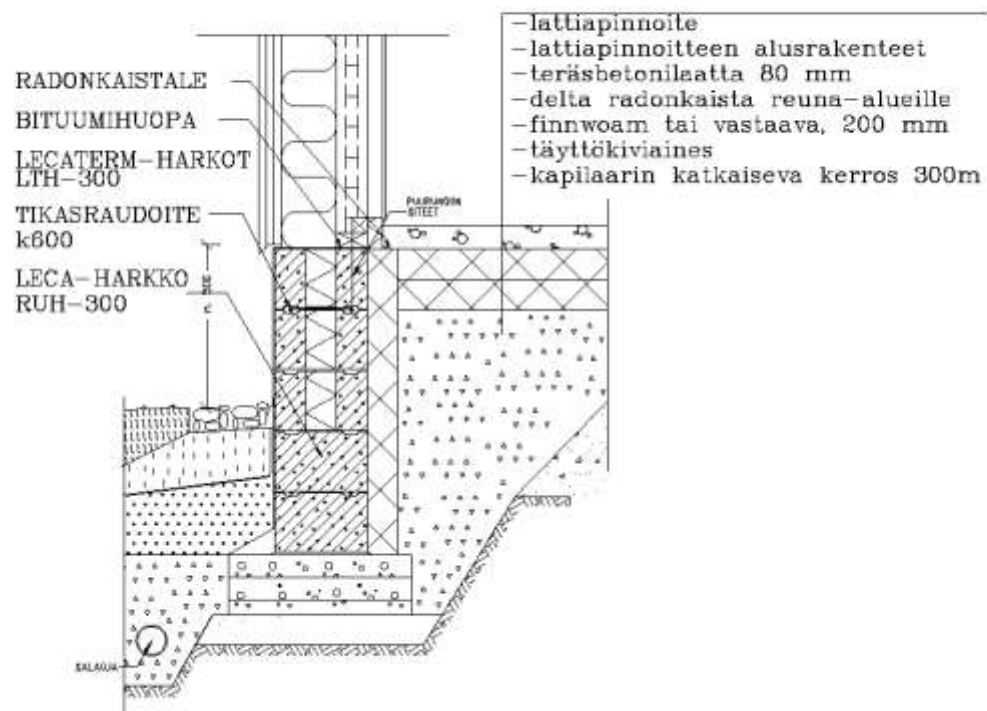
- lattiapinnoite
- lattiapinnoitteen alusrakenteet
- teräsbetonilaatta 80 mm
- delta radonkaaisia reuna-alueille
- finnwoam tai vastaava, 200 mm
- täyttökiviainesi
- kapilaarin kattaiseva kerros 300mm

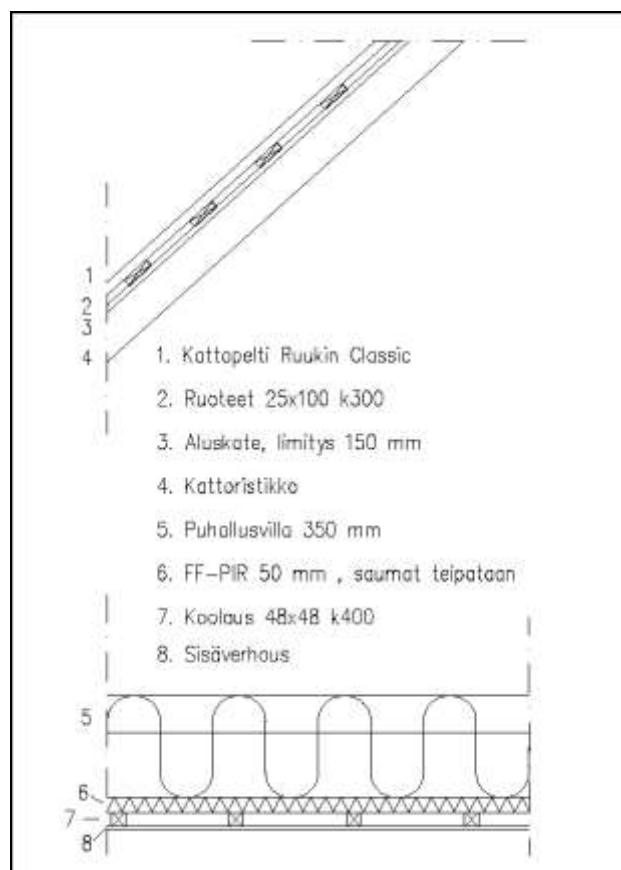


SEGLI TACQ/EXP	ANNO 2007/2012	ESPR/VAL (%)		DATA	
FEDERAZIONE ULCORNEMUS				FEDERAZIONE DET	
FEDERAZIONE IN A SOC ONIA OTTALIO BULTTI				FEDERAZIONE PERLUSUS/INFAL	
LABIA/ANIME 71482 EUROPO				MIGRA 1:13	
REL DO	ANNO 13 2 2018	SEGLI RAK		FED 1 PERL	
Fertile Fabiola RAK Rakemulike Bultti Oy				Numeroconto 1 73780 Guelp p.n. 0424 131 863	

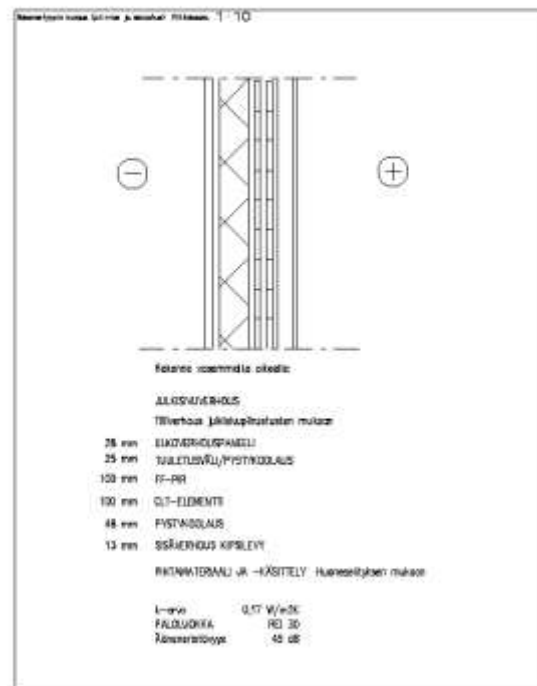
PERUSTUSLEIKKAUS 1:10

AP1 (U= 0,16 W/m²K)

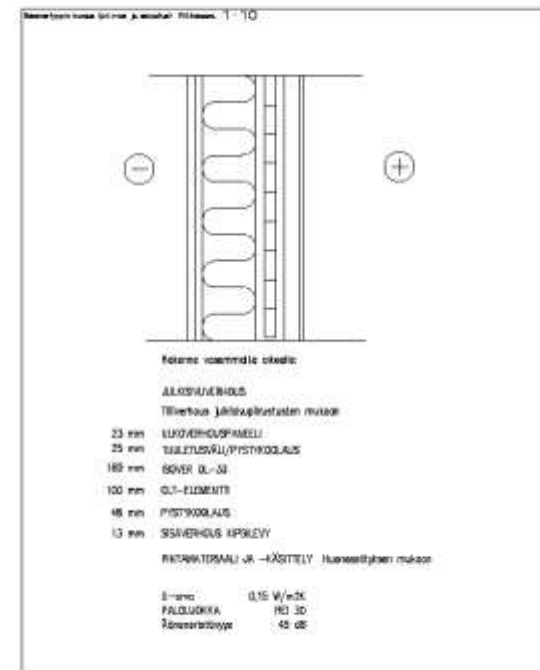
[illegible]



Luott. p.	Arvioitu	Päivä	Mies	Paikka
PP		12.3.2018		
Maailmanlaatu		100 %		
LAUKAANPINNE		1		US1
Maailmanlaatu				
ULKOSIENA 1. KERROS				

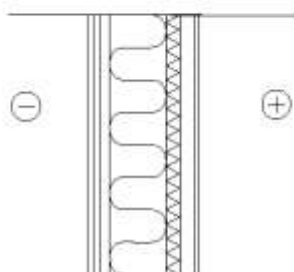


Luott. p.	Arvioitu	Päivä	Mies	Paikka
PP		12.3.2018		
Maailmanlaatu		100 %		
LAUKAANPINNE		1		US2
Maailmanlaatu				
ULKOSIENA 1. KERROS				



Lausila AD	Prosessi B	Päivä 12.3.2018	Sivu 1	Kuusi
Tutkimus LÄLKAHNNE		Yht. määrä 1	Tutkimus/ko - kuva US2B	
Tutkimus/ko - kuva JULKOSIÄ 2. KERROS PÄÄTYKOLMIO				

Reklamasyon kopya talitna, sa kasalukutan, tinataposan 1:10



Rutaria racemifolia Pilger

ALTERNATIVES

Terveisiä jatkajavaihtajien muuten

25 mm (ULOVENHOLJSPÅNEN)

75 mm TALLERDÄL/PISTONOLAS

200 ml. 50% SPECIAL DRY

100 mm GLT-ELEMENTEN

48. 1991 PASTORALUS

12 mm. SEVERE/NOIS UPSLEW

PINTWATERHALL JA -KÄSITTELY Huonekalujen vuokraus

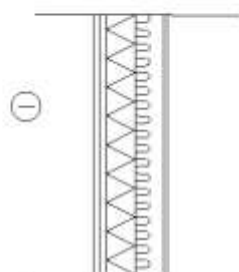
0.15 W/m²K

PALQUENA 101 30

Electronics 2022, 10, 228

Lausaja PP	Prosessi	Päiväys 12.3.2018	Sivu 1	Kuusi
Terveystieteiden LAIKANNINNE		1	Terveystieteiden lausunto US1B	
Terveystieteiden lausunto JULKOSU 2 KERROS PÄÄTYKSI				

Identiifitse lühese lühitite ja seadistat tegevused 1-10



Rutera venenosa pisole

ALCANTARA PHOENIX

Therapsid phyllophagous mites

2.5 mm (L2050E8+2.5SP+MELL) UTV 2.5-T70

75 mm KIDELALIS 25x100

130 mm (F-PH)

120 mm. PLASTICBOARD 50x100

10 mm SÖĞERİNDEN KİPİLEME

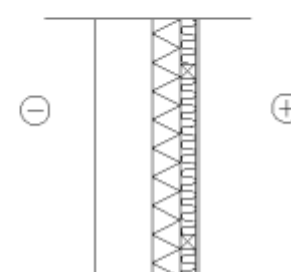
 0.15 W/m^2

PALQ:80KA

Journal of Law, Economics, & Organization, V21 N1

Laito J. PP	Työskytty	Päivä 12.3.2018	Laito Keskus
Osoite LAUKAANMIEHE	Tila numero 1	Käsiteltävän nimi US1A	
Käsiteltävän tila LILKOSFINÄ 2. KERROS			

Alkuperä: [tyyppi: tonaan, tyyl: raa, ja mielustat: 10/10/2008](#)



Polystyrene vinyldene chloride

JEL: K51, E62, E63, E64, E65, E66, E67, E68, E69, E70, E71, E72, E73, E74, E75, E76, E77, E78, E79, E80, E81, E82, E83, E84, E85, E86, E87, E88, E89, E90, E91, E92, E93, E94, E95, E96, E97, E98, E99

Tilvehaus Jikkilapirastutan mukoon

(continued)

1.25 mm B5TH00-1000

100 mm FF-PBR

48 mm VAAKADOLAU 48x48

13 nm SÖDERHOLM EPSTEIN

0.16 W/m²

PALDUONKA, PED

İktisatçıların 43

CLT runko ISOVER						
		m ²	työt/yks	€	mat/m ²	€
CLT käsittely sisältä	60	m ²	4	240,00	3	180
*Kipsilevyn tas. Ja maal.	60	m ²			12,5	750
ELEMENTIT	120,00	m ²				9500,00
asennus	120,00	m ²	8	960,00	1,00	120,00
ISOVER OL-33	120,00	m ²	5,00	600,00	16,70	2004,00
koolaus 25x100	120,00	m ²	2,00	240,00	1,00	120,00
paneeli UTV 140	120,00	m ²	6,00	720,00	9,07	1088,40
ikkunat	13,00	kpl	35,00	455,00	304,00	3952,00
ovet	2,00	kpl	35,00	70,00	304,00	608,00
elementin nosto	4,00	kpl		0,00	120,00	480,00
kipsilevy	60,00	m ²	2,40	144,00	2,80	168,00
koolaus 48x48	60,00	m ²	2,00	120,00	1,00	60,00
sosiaalikulut	66	%		2342,34		
				5891,34		19030,40
					yht	24921,74
					€/m ²	183,25

*= alihankinta

CLT runko FF-PIR						
		m ²	työt/yks	€	mat/m ²	€
CLT käsittely sisältä	60		4	240,00	3	180
*Kipsilevyn tas. Ja maal.	60	m ²			12,5	750
ELEMENTIT	120,00	m ²				9500,00
pelti sokkelille	45,00	jm	3	135,00	2,50	112,50
elementin asennus	120,00	m ²	8	960,00	1,00	120,00
FF-PIR 100 mm	120,00	m ²	5,00	600,00	13,50	1620,00
koolaus 25x100	120,00	m ²	2,00	240,00	1,00	120,00
paneeli UTV 140	120,00	m ²	6,00	720,00	9,07	1088,40
ikkunat	13,00	kpl	35,00	455,00	304,00	3952,00
ovet	2,00	kpl	35,00	70,00	304,00	608,00
elementin nosto	4,00	kpl			120,00	480,00
kipsilevy	60,00	m ²	2,40	144,00	2,80	168,00
koolaus 48x48	60,00		2,00	120,00	1,00	60,00
sosiaalikulut	66	%		2431,44		
				6115,44		18758,90
					yht	24874,34
					€/m ²	182,90

*= alihankinta

Suurelementit			Työkustannukset		Materiaalikustannukset	
	määrä	yksikkö	€/yksikkö	yht.	€/yksikkö	yht.
villoitus 50	120	m ²	1,0	120	**	**
höyrynsulku teippaus	120	m ²	1,00	120		50,00
ovet	2	kpl	35,00	70,00	304,00	608,00
kipsilevy	60	m ²	2,40		**	**
*Kipsilevyn tas. Ja maal.	120	m ²			12,5	1500
ELEMENTIT	120	m ²			95,00	16100
asennus	120	m ²	9	1080,00	1,00	120,00
elementin nosto	4	kpl		0,00	120,00	480,00
sosiaalikulut	66	%		917,4		
				2307,40		18858,00
					yht	21165,40
					€/m2	155,63

*= alihankinta

**= sisältyy elementti toimitukseen

CLT-Suurelementit			Työkustannukset		Materiaalikustannukset	
	määrä	yksikkö	€/yksikkö	yht.	€/yksikkö	yht.
*ovet	2,00	kpl	35,00	70,00	304,00	608,00
*koolaus 48x48	60,00	m ²	2,00	120,00	1,00	60,00
*kipsilevy	60,00	m ²	2,40	144,00	2,80	168,00
*CLT käsittely sisältä	60	m ²			3	180
*Kipsilevyn tas. Ja maal.	60	m ²			12,5	750
*ELEMENTIT	120,00	m ²				35900,00
*elementin asennus	120,00	m ²	9	1080,00	1,00	120,00
*elementin nosto	4,00	kpl		0,00	120,00	480,00
sosiaalikulut	66	%		933,24		
				2347,24		38266,00
					yht	40613,24
					€/m2	298,63

*= alihankinta

DOF-LÄMPÖ 3.0

Rakennuskohde:	Laukaanrinne
Suunnittelija:	Petteri Pahkala
Yritys:	OAMK
Rakenneosan nimi/tunnus:	US 1A
Rakennusluokka:	?

Lisätiedot:

Suunnittelija:
Petteri Pahkala

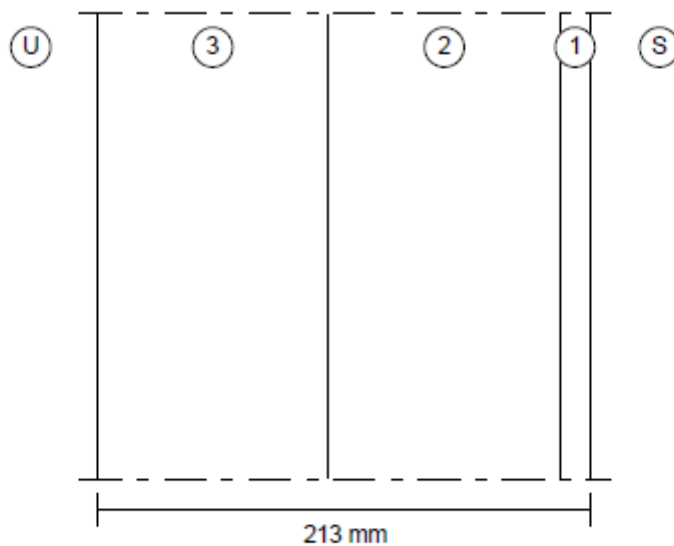
Paivays:
22.3.2018

PERUSTIEDOT	
Rakenne:	?
Rakenneosan kok. pinta-ala (m ²):	120
Ulkopinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Sisäpinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Korjaustermi deltaU (W/m ² K):	0.0050
Korjaustermien selite:	Ilmaraon korjaustermi
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Täysin eri kohdissa
U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	5.767 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiiarvo:	5.767 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	5.767 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.173 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.005 W/m2K
Korjaustermi 0.005 < 3% U-arvosta	ei oteta huomioon
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.173 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.17 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m2K
www.laskentapalvelut.fi - DOF-LÄMPÖ 3.0 - 1.12.2017	

TARKASTELUHETKET/~JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T _{ulko} (C):	T _{sisä} (C):	RH _{ulko} (%):	RH _{sisä} (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 3, Mitoitustilanne	-32.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 3, Tammikuu	-8.00	21	88	50	744
Vyöhyke 3, Helmikuu	-7.10	21	87	50	672
Vyöhyke 3, Maaliskuu	-3.53	21	81	50	744
Vyöhyke 3, Huhtikuu	2.42	21	73	50	720
Vyöhyke 3, Toukokuu	8.84	21	65	50	744
Vyöhyke 3, Kesäkuu	13.39	21	65	50	720
Vyöhyke 3, Heinäkuu	15.76	21	72	50	744
Vyöhyke 3, Elokuu	13.76	21	80	50	744
Vyöhyke 3, Syyskuu	9.18	21	85	50	720
Vyöhyke 3, Lokakuu	4.07	21	87	50	744
Vyöhyke 3, Marraskuu	-1.76	21	91	50	720
Vyöhyke 3, Joulukuu	-5.92	21	89	50	744
Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (120 m² kohden)					
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:				
Vyöhyke 3, Tammikuu	440.150 kWh				
Vyöhyke 3, Helmikuu	385.217 kWh				
Vyöhyke 3, Maaliskuu	372.307 kWh				
Vyöhyke 3, Huhtikuu	272.903 kWh				
Vyöhyke 3, Toukokuu	184.560 kWh				
Vyöhyke 3, Kesäkuu	111.776 kWh				
Vyöhyke 3, Heinäkuu	79.531 kWh				
Vyöhyke 3, Elokuu	109.886 kWh				
Vyöhyke 3, Syyskuu	173.612 kWh				
Vyöhyke 3, Lokakuu	256.957 kWh				
Vyöhyke 3, Marraskuu	334.299 kWh				
Vyöhyke 3, Joulukuu	408.581 kWh				
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	3129.778 kWh				
www.laskentapalvelut.fi - DOF-LÄMPÖ 3.0 - 1.12.2017					

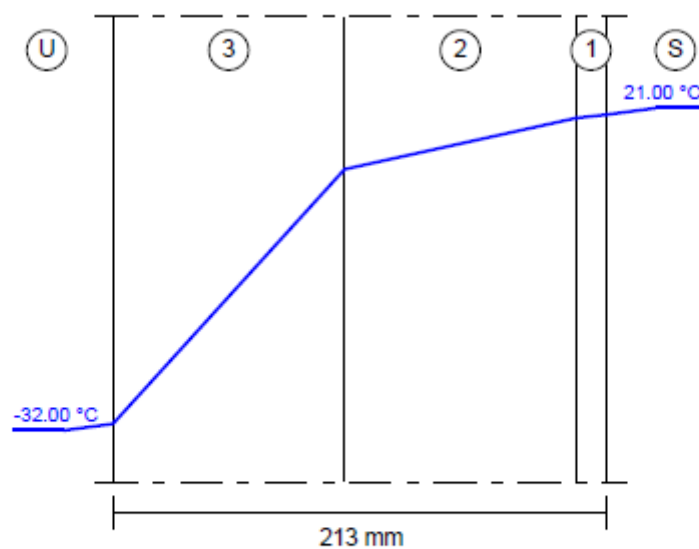
RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)	VHL: (kg/msPa)
1	13.00	Gyproc GN 13	0.250	2.000e-11
2	100.00	CLT	0.110	5.00e-16
3	100.00	FF-PIR	0.022	5e-10



LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 3, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	19.81
1-2:	19.33
2-3:	10.97
Ulkopinta:	-30.81
Ulkotila:	-32.00



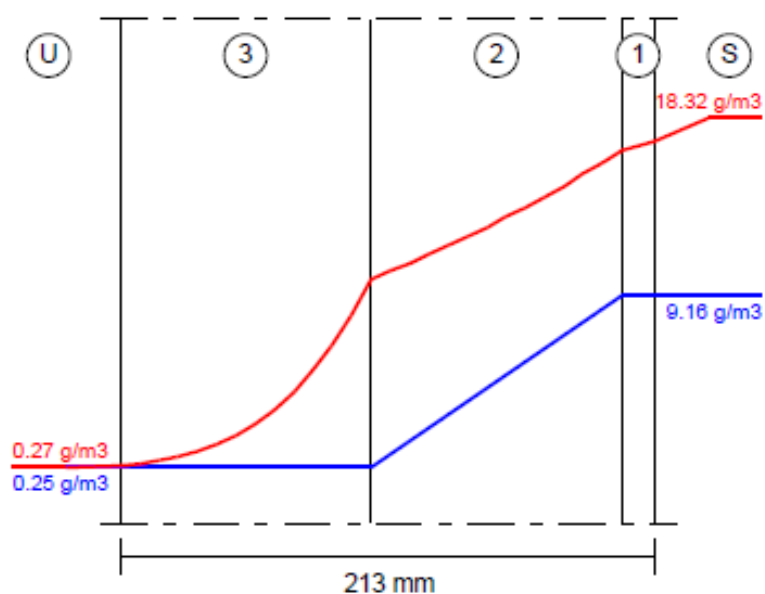
KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

Vyöhyke 3, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m ³):	KM (g/m ³):	Kond. (g/m ²):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	17.09	9.16 (RH=53.61%)	0.00
1-2:	16.62	9.16 (RH=55.13%)	0.00
2-3:	9.99	0.25 (RH=2.47%)	0.00
Ulkopinta:	0.31	0.25 (RH=79.69%)	0.00
Ulkotila:	0.27	0.25 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteusmäärä, Kond. = kondensaatio)



DOF-LÄMPÖ 3.0

Rakennuskohde:	Laukaanrinne
Suunnittelija:	Petteri Pahkala
Yritys:	OAMK
Rakenneosan nimi/tunnus:	US 1B
Rakennusluokka:	?

Lisätiedot:

Suunnittelija:
Petteri Pahkala

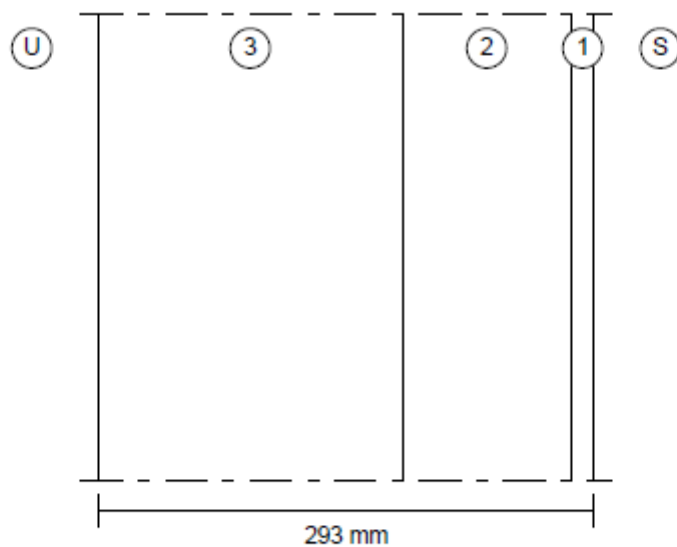
Paivays:
22.3.2018

PERUSTIEDOT	
Rakenne:	?
Rakennososan kok. pinta-ala (m ²):	120
Ulkopinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Sisäpinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Korjaustermi deltaU (W/m ² K):	0.0050
Korjaustermien selite:	Ilmaraon korjaustermi
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Täysin eri kohdissa
U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	6.676 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiiarvo:	6.676 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	6.676 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.150 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.005 W/m2K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.155 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.15 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m2K
www.laskentapalvelut.fi - DOF-LÄMPÖ 3.0 - 1.12.2017	

TARKASTELUHETKET/-JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T _{ulko} (C):	T _{sisä} (C):	RH _{ulko} (%):	RH _{sisä} (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 3, Mitoitustilanne	-32.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 3, Tammikuu	-8.00	21	88	50	744
Vyöhyke 3, Helmikuu	-7.10	21	87	50	672
Vyöhyke 3, Maaliskuu	-3.53	21	81	50	744
Vyöhyke 3, Huhtikuu	2.42	21	73	50	720
Vyöhyke 3, Toukokuu	8.84	21	65	50	744
Vyöhyke 3, Kesäkuu	13.39	21	65	50	720
Vyöhyke 3, Heinäkuu	15.76	21	72	50	744
Vyöhyke 3, Elokuu	13.76	21	80	50	744
Vyöhyke 3, Syyskuu	9.18	21	85	50	720
Vyöhyke 3, Lokakuu	4.07	21	87	50	744
Vyöhyke 3, Marraskuu	-1.76	21	91	50	720
Vyöhyke 3, Joulukuu	-5.92	21	89	50	744
Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (120 m² kohden)					
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:				
Vyöhyke 3, Tammikuu	388.368 kWh				
Vyöhyke 3, Helmikuu	339.898 kWh				
Vyöhyke 3, Maaliskuu	328.506 kWh				
Vyöhyke 3, Huhtikuu	240.797 kWh				
Vyöhyke 3, Toukokuu	162.847 kWh				
Vyöhyke 3, Kesäkuu	98.626 kWh				
Vyöhyke 3, Heinäkuu	70.174 kWh				
Vyöhyke 3, Elokuu	96.958 kWh				
Vyöhyke 3, Syyskuu	153.187 kWh				
Vyöhyke 3, Lokakuu	226.727 kWh				
Vyöhyke 3, Marraskuu	294.970 kWh				
Vyöhyke 3, Joulukuu	360.513 kWh				
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	2761.569 kWh				
www.laskentapalvelut.fi - DOF-LÄMPÖ 3.0 - 1.12.2017					

RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)	VHL: (kg/msPa)
1	13.00	Gyproc GN 13	0.250	2.000e-11
2	100.00	CLT	0.110	5.00e-16
3	180.00	ISOVER OL-33 FACADE	0.033	8.417e-11



LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

Vyöhyke 3, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:

Lämpötila (Celsius):

Sisätila: 21.00

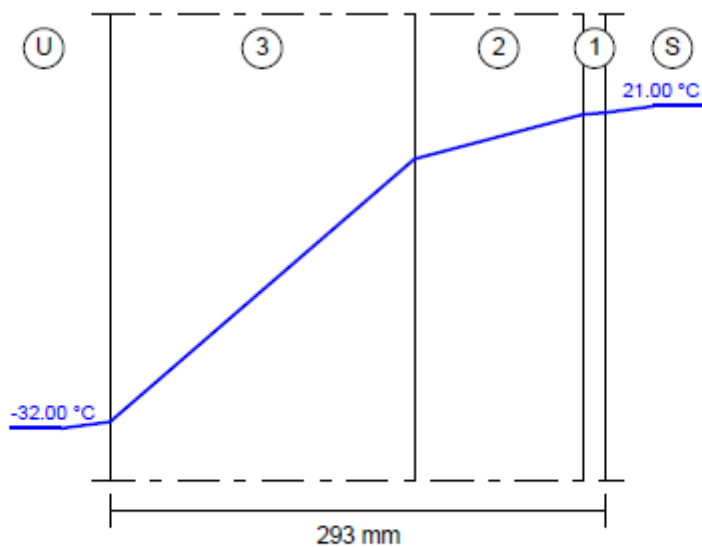
Sisäpinta: 19.97

1-2: 19.56

2-3: 12.34

Ulkopinta: -30.97

Ulkotila: -32.00

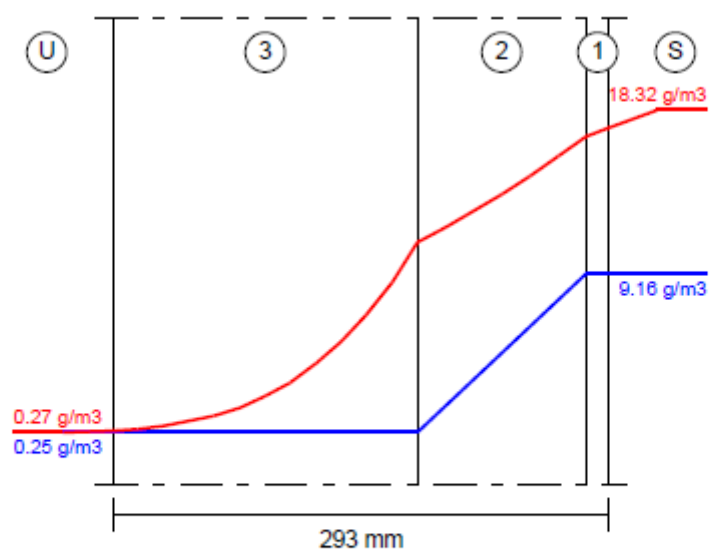


KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso: Vyöhyke 3, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m ³):	KM (g/m ³):	Kond. (g/m ²):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	17.25	9.16 (RH=53.10%)	0.00
1-2:	16.84	9.16 (RH=54.40%)	0.00
2-3:	10.89	0.25 (RH=2.27%)	0.00
Ulkopinta:	0.30	0.25 (RH=81.01%)	0.00
Ulkotila:	0.27	0.25 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteus määrä, Kond. = kondensaatio)



DOF-LÄMPÖ 3.0

Rakennuskohde:	Laukaanrinne
Suunnittelija:	Petteri Pahkala
Yritys:	OAMK
Rakenneosan nimi/tunnus:	US1A
Rakennusluokka:	?

Lisätiedot:

Suunnittelija:
Petteri Pahkala

Paivays:
?

PERUSTIEDOT	
Rakenne:	?
Rakenneosan kok. pinta-ala (m ²):	1.00
Ulkopinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Sisäpinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Korjaustermi deltaU (W/m ² K):	0.0000
Korjaustermi selite:	Ilmaraon korjaustermi
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Täysin eri kohdissa
U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	6.318 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiiarvo:	6.156 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	6.237 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.160 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.000 W/m2K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.160 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.16 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m2K
www.laskentapalvelut.fi - DOF-LÄMPÖ 3.0 - 1.12.2017	

TARKASTELUHETKET-/JAKSOT

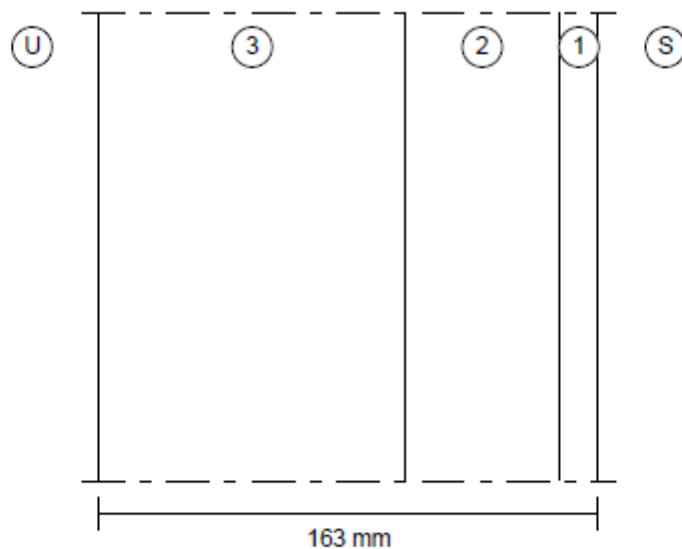
Tarkastelujakson nimi:	T,ulko (C):	T,sisä (C):	RH,ulko (%):	RH,sisä (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 3, Mitoitustilanne	-32.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 3, Tammikuu	-8.00	21	88	50	744
Vyöhyke 3, Helmikuu	-7.10	21	87	50	672
Vyöhyke 3, Maaliskuu	-3.53	21	81	50	744
Vyöhyke 3, Huhtikuu	2.42	21	73	50	720
Vyöhyke 3, Toukokuu	8.84	21	65	50	744
Vyöhyke 3, Kesäkuu	13.39	21	65	50	720
Vyöhyke 3, Heinäkuu	15.76	21	72	50	744
Vyöhyke 3, Elokuu	13.76	21	80	50	744
Vyöhyke 3, Syyskuu	9.18	21	85	50	720
Vyöhyke 3, Lokakuu	4.07	21	87	50	744
Vyöhyke 3, Marraskuu	-1.76	21	91	50	720
Vyöhyke 3, Joulukuu	-5.92	21	89	50	744

Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (1.00 m² kohden)

Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:
Vyöhyke 3, Tammikuu	3.452 kWh
Vyöhyke 3, Helmikuu	3.021 kWh
Vyöhyke 3, Maaliskuu	2.920 kWh
Vyöhyke 3, Huhtikuu	2.140 kWh
Vyöhyke 3, Toukokuu	1.448 kWh
Vyöhyke 3, Kesäkuu	0.877 kWh
Vyöhyke 3, Heinäkuu	0.624 kWh
Vyöhyke 3, Elokuu	0.862 kWh
Vyöhyke 3, Syyskuu	1.362 kWh
Vyöhyke 3, Lokakuu	2.015 kWh
Vyöhyke 3, Marraskuu	2.622 kWh
Vyöhyke 3, Joulukuu	3.205 kWh
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	24.547 kWh

RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)	VHL: (kg/msPa)
1	13.00	Gyproc GN 13	0.250	2.000e-11
2	50.00	ISOVER KL-32	0.032	1.050e-10
Kylmäsilta (7.40%):		Vaakakoolaus 50 mm k600	0.12	
3	100.00	FF-PIR	0.022	5e-10



LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso: Vyöhyke 3, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste: Lämpötila (Celsius):

Sisätila: 21.00

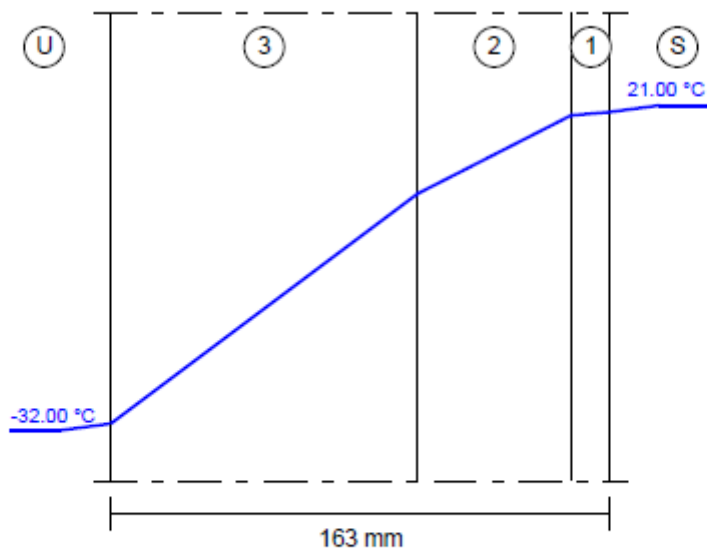
Sisäpinta: 19.93

1-2: 19.50

2-3: 6.60

Ulkopinta: -30.93

Ulkotila: -32.00



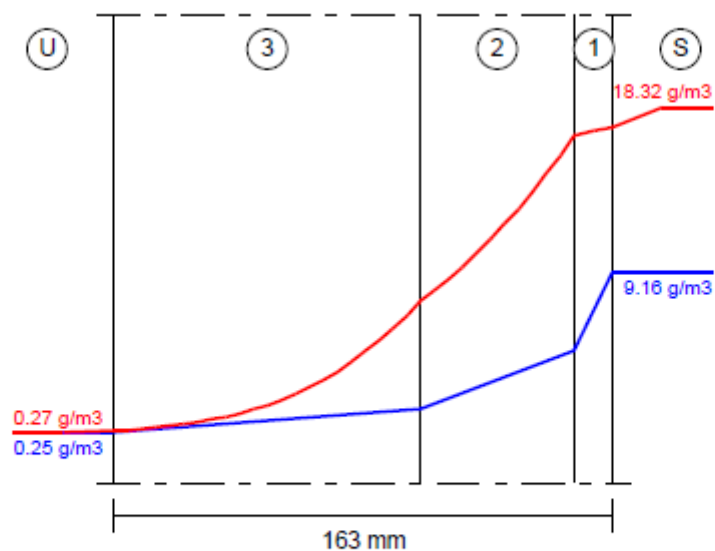
KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

Vyöhyke 3, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m ³):	KM (g/m ³):	Kond. (g/m ²):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	17.21	9.16 (RH=53.23%)	0.00
1-2:	16.78	4.79 (RH=28.55%)	0.00
2-3:	7.55	1.59 (RH=21.07%)	0.00
Ulkopinta:	0.31	0.25 (RH=80.68%)	0.00
Ulkotila:	0.27	0.25 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteus määrä, Kond. = kondensaatio)



DOF-LÄMPÖ 3.0

Rakennuskohde:	Laukaanrinne
Suunnittelija:	Petteri Pahkala
Yritys:	oamk
Rakenneosan nimi/tunnus:	YP
Rakennusluokka:	?

Lisätiedot:

Suunnittelija:
Petteri Pahkala

Paivays:
22.3.2018

PERUSTIEDOT	
Rakenne:	Katto (aluskatteella)
Kattokulma:	45
Rakenneosan kok. pinta-ala (m ²):	1.00
Ulkopinnan pintavastus (m ² K/W):	0.04
Sisäpinnan pintavastus (m ² K/W):	0.10
Korjaustermi deltaU (W/m ² K):	0.0000
Korjaustermien selite:	Ilmaraon korjaustermi
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Täysin eri kohdissa
U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläliikiarvo:	11.766 m ² K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvo:	11.766 m ² K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	11.766 m ² K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.085 W/m ² K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.000 W/m ² K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.085 W/m ² K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.08 W/m ² K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.09 W/m ² K
www.laskentapalvelut.fi - DOF-LÄMPÖ 3.0 - 1.12.2017	

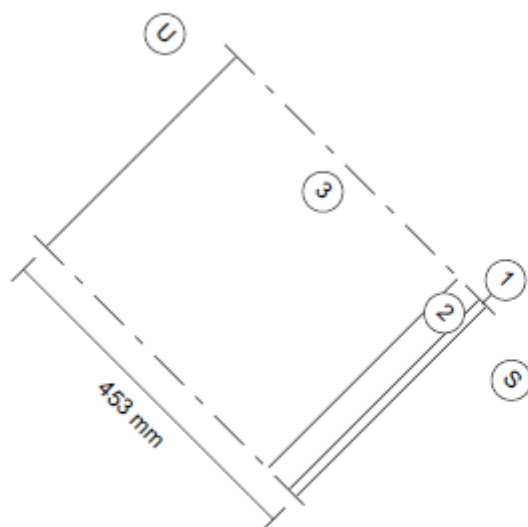
TARKASTELUHETKET/-JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T _u lko (C):	T _s isä (C):	RH _u lko (%):	RH _s isä (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 3, Mitoitustilanne	-32.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 3, Tammikuu	-8.00	21	88	50	744
Vyöhyke 3, Helmikuu	-7.10	21	87	50	672
Vyöhyke 3, Maaliskuu	-3.53	21	81	50	744
Vyöhyke 3, Huhtikuu	2.42	21	73	50	720
Vyöhyke 3, Toukokuu	8.84	21	65	50	744
Vyöhyke 3, Kesäkuu	13.39	21	65	50	720
Vyöhyke 3, Heinäkuu	15.76	21	72	50	744
Vyöhyke 3, Elokuu	13.76	21	80	50	744
Vyöhyke 3, Syyskuu	9.18	21	85	50	720
Vyöhyke 3, Lokakuu	4.07	21	87	50	744
Vyöhyke 3, Marraskuu	-1.76	21	91	50	720
Vyöhyke 3, Joulukuu	-5.92	21	89	50	744

Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (1.00 m² kohden)	
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:
Vyöhyke 3, Tammikuu	1.726 kWh
Vyöhyke 3, Helmikuu	1.511 kWh
Vyöhyke 3, Maaliskuu	1.460 kWh
Vyöhyke 3, Huhtikuu	1.070 kWh
Vyöhyke 3, Toukokuu	0.724 kWh
Vyöhyke 3, Kesäkuu	0.438 kWh
Vyöhyke 3, Heinäkuu	0.312 kWh
Vyöhyke 3, Elokuu	0.431 kWh
Vyöhyke 3, Syyskuu	0.681 kWh
Vyöhyke 3, Lokakuu	1.008 kWh
Vyöhyke 3, Marraskuu	1.311 kWh
Vyöhyke 3, Joulukuu	1.602 kWh
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	12.274 kWh

www.laskentapalvelut.fi - DOF-LÄMPÖ 3.0 - 1.12.2017

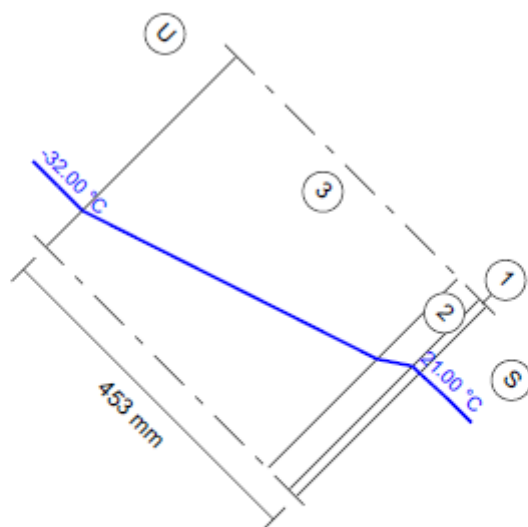
RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)	VHL: (kg/msPa)
1	13.00	Gyproc GN 13	0.250	2.000e-11
2	40.00	FF-PIR	0.022	5e-10
3	400.00	PAROC BLT 6	0.041	2.000e-10



LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 3, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	20.55
1-2:	20.32
2-3:	12.13
Ulkopinta:	-31.82
Ulkotila:	-32.00



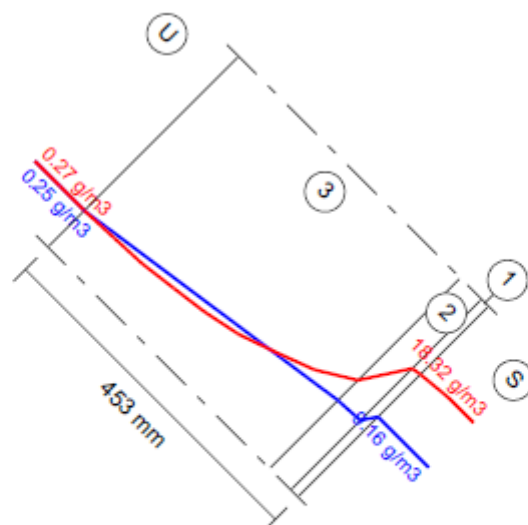
KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

Vyöhyke 3, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m3):	KM (g/m3):	Kond. (g/m2):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	17.85	9.16 (RH=51.33%)	0.00
1-2:	17.61	7.04 (RH=39.98%)	0.00
2-3:	10.74	6.78 (RH=63.08%)	0.00
Ulkopinta:	0.28	0.25 (RH=88.36%)	0.00
Ulkotila:	0.27	0.25 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteusmäärä, Kond. = kondensaatio)



DOF-LÄMPÖ 3.0

Rakennuskohde:	Laukaanrinne
Suunnittelija:	Petteri Pahkala
Yritys:	oamk
Rakenneosan nimi/tunnus:	US 1
Rakennusluokka:	?

Lisätiedot:

Lisätietoja

Suunnittelija:
Petteri Pahkala

Paivays:
?

PERUSTIEDOT

Rakenne:	?
Rakenneosan kok. pinta-ala (m ²):	1.00
Ulkopinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Sisäpinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Korjaustermi deltaU (W/m ² K):	0.0000
Korjaustermien selite:	Ilmaraon korjaustermi
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Täysin eri kohdissa

U-arvon laskentatulokset

Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	7.732 m ² K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiiarvo:	7.359 m ² K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	7.546 m ² K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.133 W/m ² K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.000 W/m ² K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.133 W/m ² K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.13 W/m ² K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m ² K

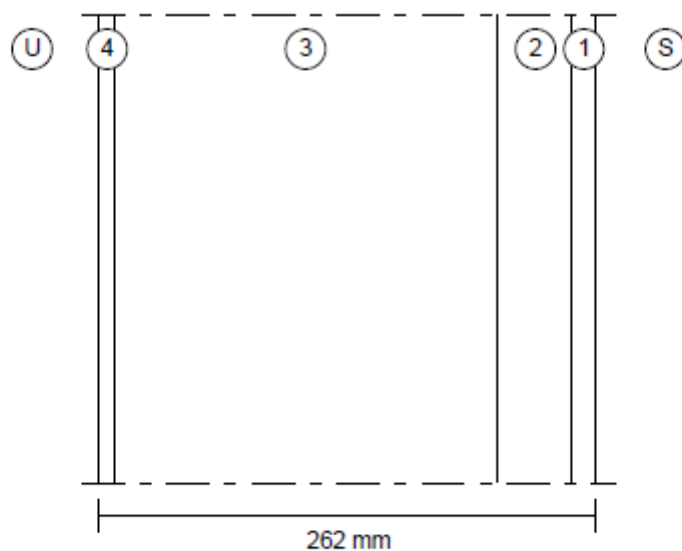
TARKASTELUHETKET/-JAKSOT					
Tarkastelujakson nimi:	T _{ulko} (C):	T _{sisä} (C):	RH _{ulko} (%):	RH _{sisä} (%):	Kesto (h):
Vyöhyke 3, Mitoitustilanne	-32.00	21	90.0	50.0	24.0
Vyöhyke 3, Tammikuu	-8.00	21	88	50	744
Vyöhyke 3, Helmikuu	-7.10	21	87	50	672
Vyöhyke 3, Maaliskuu	-3.53	21	81	50	744
Vyöhyke 3, Huhtikuu	2.42	21	73	50	720
Vyöhyke 3, Toukokuu	8.84	21	65	50	744
Vyöhyke 3, Kesäkuu	13.39	21	65	50	720
Vyöhyke 3, Heinäkuu	15.76	21	72	50	744
Vyöhyke 3, Elokuu	13.76	21	80	50	744
Vyöhyke 3, Syyskuu	9.18	21	85	50	720
Vyöhyke 3, Lokakuu	4.07	21	87	50	744
Vyöhyke 3, Marraskuu	-1.76	21	91	50	720
Vyöhyke 3, Joulukuu	-5.92	21	89	50	744

Tarkastelujaksojen 2-13 lämpöhäviöt (1.00 m² kohden)	
Tarkastelujakson nimi:	Lämpöhäviö:
Vyöhyke 3, Tammikuu	2.805 kWh
Vyöhyke 3, Helmikuu	2.455 kWh
Vyöhyke 3, Maaliskuu	2.373 kWh
Vyöhyke 3, Huhtikuu	1.739 kWh
Vyöhyke 3, Toukokuu	1.176 kWh
Vyöhyke 3, Kesäkuu	0.712 kWh
Vyöhyke 3, Heinäkuu	0.507 kWh
Vyöhyke 3, Elokuu	0.700 kWh
Vyöhyke 3, Syyskuu	1.106 kWh
Vyöhyke 3, Lokakuu	1.637 kWh
Vyöhyke 3, Marraskuu	2.130 kWh
Vyöhyke 3, Joulukuu	2.604 kWh
Lämpöhäviö ulos yhteensä:	19.945 kWh

www.laskentapalvelut.fi - DOF-LÄMPÖ 3.0 - 1.12.2017

RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)	VHL: (kg/msPa)
1	13.00	Gyproc GN 13	0.250	2.000e-11
2	40.00	FF-PIR	0.022	5e-10
3	200.00	ISOVER KL-32	0.032	1.050e-10
Kylmäsilta (7.40%):		RUNKO 200 mm k600	0.12	
4	9.0	Gyproc GTS 9	0.250	2.000e-11



LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso: Vyöhyke 3, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste: Lämpötila (Celsius):

Sisätila: 21.00

Sisäpinta: 20.18

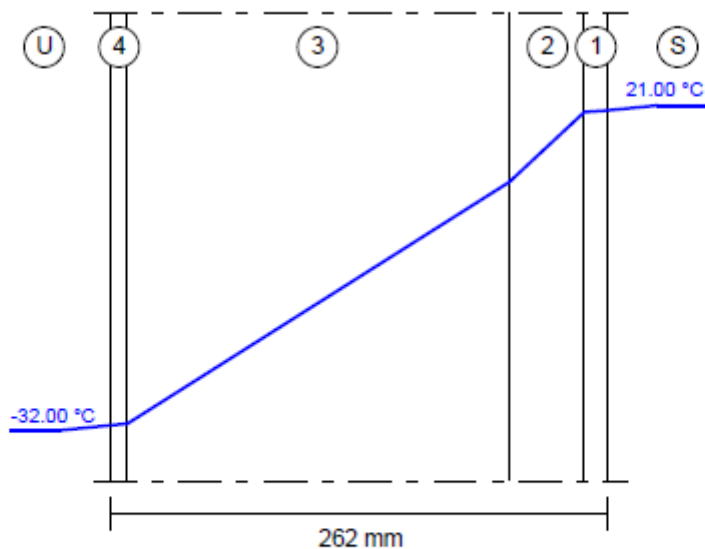
1-2: 19.85

2-3: 8.40

3-4: -30.95

Ulkopinta: -31.18

Ulkotila: -32.00



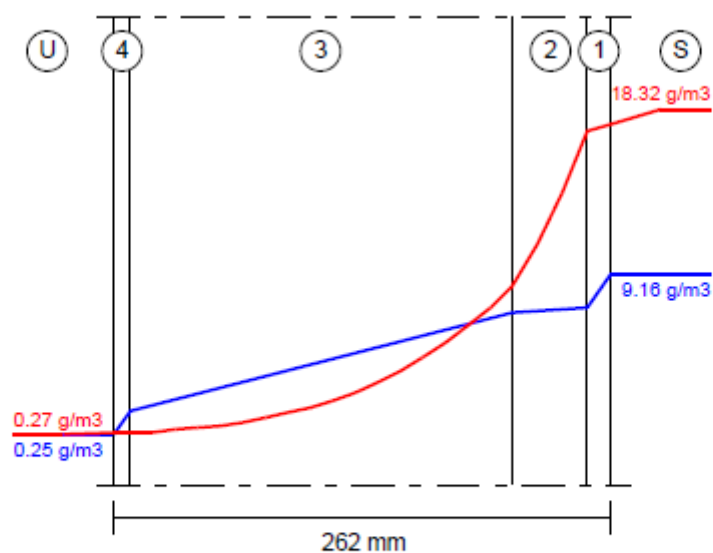
KOSTEUS ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:

Vyöhyke 3, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:	KK (g/m ³):	KM (g/m ³):	Kond. (g/m ²):
Sisätila:	18.32	9.16 (RH=50.00%)	-
Sisäpinta:	17.47	9.16 (RH=52.44%)	0.00
1-2:	17.14	7.28 (RH=42.49%)	0.00
2-3:	8.49	7.05 (RH=83.08%)	0.00
3-4:	0.30	1.55 > 0.30 (RH=100%)	38.37
Ulkopinta:	0.30	0.25 (RH=82.79%)	0.00
Ulkotila:	0.27	0.25 (RH=90.00%)	-

(KK = Kyllästymiskosteus, KM = kosteusmäärä, Kond. = kondensaatio)



Maanvastaisen alapohjan U-arvon määrittäminen**Laskennan lähtötiedot:**

Lattiarakenteen pinta-ala, A	136	m ²
Lattiarakenteen piiri, P	38	m
Seinän paksuus, w	0.3	m
Maan lämmönjohtavuus	2.0	W/(m K)
Sisäpuolen pintavastus, R _{si}	0.17	m ² K/W
Lattiarakenteen lämmönvastus, R _f	5.8	m ² K/W
Maan pinnan pintavastus ulkona, R _{se}	0.04	m ² K/W
Vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen leveys, D _h	0	m
Pystysuuntaisen lisälämmöneristeen korkeus, D _v	0.60	m
Reuna-alueen lämmöneristeen lämmönvastus, R _{nh}	3.33	m ² K/W
Reuna-alueen lämmöneristeen paksuus, d _{nh}	0	m
Perusmuurin lämmönvastus, R _{nv}	4.86	m ² K/W
Perusmuurin paksuus, d _{nv}	0.3	m

Laskennan tulokset:

Maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus, d _t	12.320	m
Suhteellinen lattiamitta, B'	7.158	m
Vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen tai pystysuuntaisen lämmöneristeyksen huomioon otettava viivamainen lisäkonduktanssi	-0.025	W/(m K)
Lattiarakenteen reuna-alueella olevan vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus	6.660	m
Vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen huomioon otettava viivamainen lisäkonduktanssi	0.000	W/(m K)
Pystysuuntaisen lisälämmöneristeen huomioon otettava viivamainen lisäkonduktanssi	-0.025	W/(m K)
Lattiarakenteen reuna-alueella olevan pystysuuntaisen lisälämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus	9.420	m
Maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin, U _f (U-arvo ilman maan lämmön vastuksia pelkät rakennekerrokset ja ilman pintavastukset huomioiden)	0.166	W/(m ² K)
Maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin, U _f (=0.9 * U-arvo ilman maan lämmönvastuksia)	0.150	W/(m ² K)
Maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin, u _f (U-arvo jossa huomioituna maan lämmönvastukset ja rakenteen geometria)	0.121	W/(m ² K)